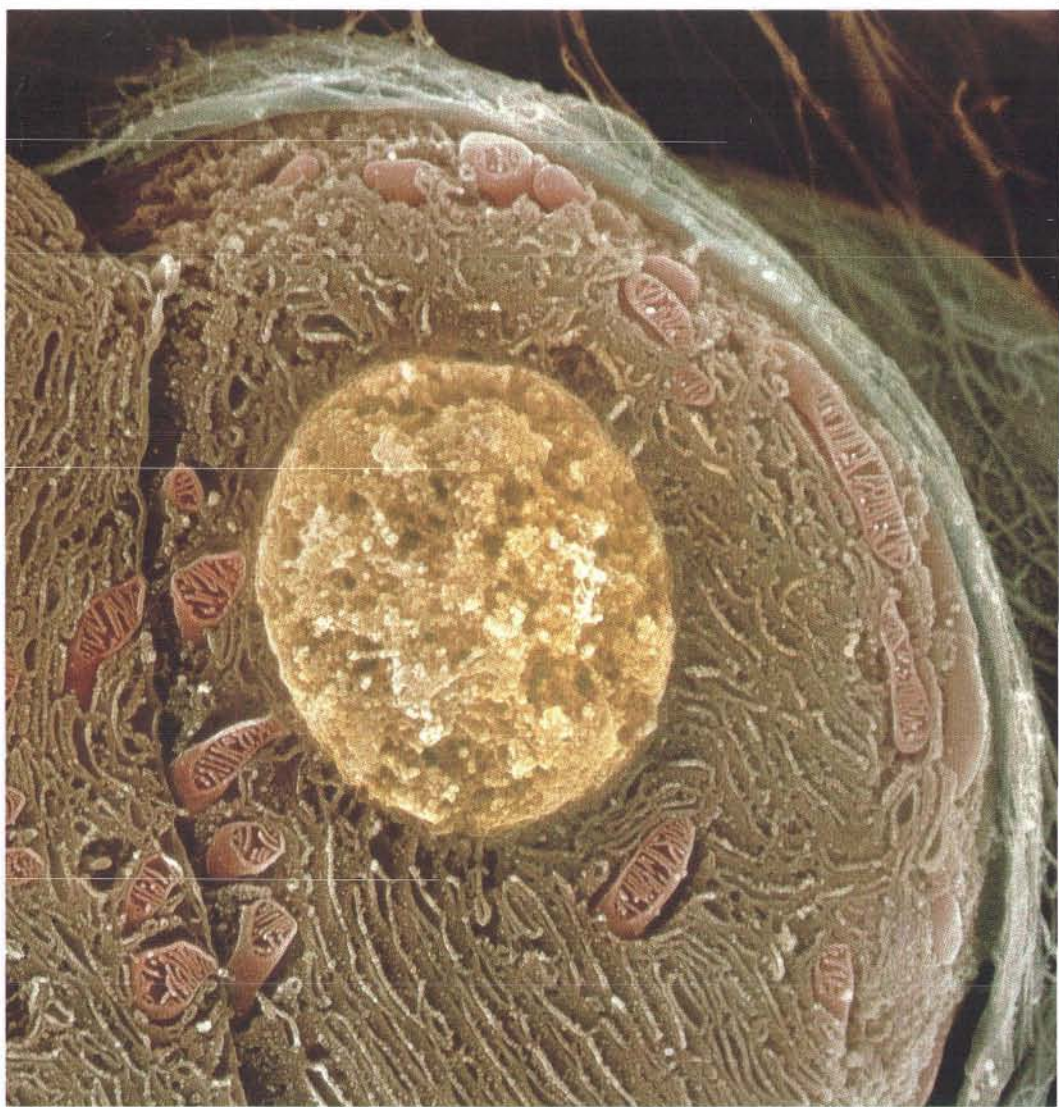


5

58^e jaargang

NATUUR '90 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



LEVEND WATER / KUNSTMATIGE ONVRUCHTBAARHEID /
TOMATENVEREDELING / GASVLAMMEN BELICHT / STIKSTOFKRINGLOOP /
MISDAADANALYSE /

STUDEREN IN DEELTIJD?

HMN

HOGESCHOOL
MIDDEN
NEDERLAND

LERARENOPLEIDINGEN HMN

NATUUR- EN MILIEU-EDUCATIE

V O O R L I C H T I N G S D A G

ZATERDAG 19 MEI

11.00 - 13.00 UUR

Archimedeslaan 16, Utrecht
030 - 52 51 11 toestel 123 en 347

M I L I E U K U N D E

STUDEREN IN DEELTIJD

HMN

HOGESCHOOL
MIDDEN
NEDERLAND

ondermeer:

biologie

LERARENOPLEIDINGEN HMN

gezondheidskunde

VOOR TWEEDE- OF

natuurkunde

V O O R L I C H T I N G S D A G

scheikunde

ZATERDAG 19 MEI

techniek

11.00 - 13.00 UUR

wiskunde

Archimedeslaan 16, Utrecht
030 - 52 51 11 toestel 123 en 347

EERSTEGRAADS LERAAR?

NATUUR '90 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 10,95 of 215 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

Bij de omslag



In een levende cel bevindt water zich in dunne lagen tussen de vele membranen en eiwitten. De eigenschappen van water in dunne lagen – vicinaal water – blijken af te wijken van die van vrij water. Hoe dit afwijkende gedrag de ionenverdeling in cellen en de temperatuur-afhankelijkheid van organismen kan verklaren, leest u op pag. 364 e.v.

(foto: Lennart Nilsson, Karolinska Instituut, Stockholm)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek,

Drs R.W. van Nues, Drs E.J. Vermeulen.

Redactiesecretaresse: R.A. Bodden-Welsch.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 04759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Drs G.P.Th. Kloeg,

A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israël, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluysers, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur & Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET BV, Echt (L.). Tel.: 04754-81223.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044.

Fax: 043-216124.

Voor België: Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel.

Tel.: 00-3143254044. Fax: 00-3143216124.

EURO
ARTIKEL

notu vak

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

SIMULATICA/Priemgetallen	VI
AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL/Complexiteit	351
TOMATEN	352

Van massaselectie tot manipulatie

Pim Lindhout en Thomas Kramer

Een eeuw geleden genoot de tomaat nog nauwelijks bekendheid als voedselbron. Thans is zij het belangrijkste groentegewas ter wereld. Veredelaars hebben rassen ontwikkeld voor zeer uiteenlopende teeltwijzen en klimaten, aangepast aan de specifieke eisen voor industriële verwerking of verse consumptie. Aanvankelijk konden zij via kruising en selectie de genetische variatie binnen de soort of in wilde verwanten benutten. De laatste jaren zijn nieuwe technieken ontwikkeld, die de introductie van allerlei nieuwe eigenschappen in de tomaat mogelijk maken.



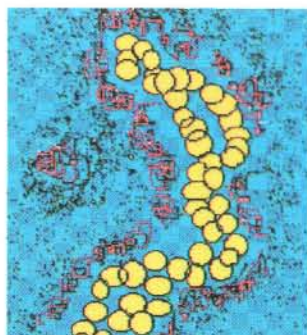
LEVEND WATER

364

(Vijf vloeibare fasen)

W. Drost-Hansen en J. Lin Singleton

De meeste mensen accepteren water zoals het is en vragen zich nauwelijks af wat deze ongewone en fascinerende vloeistof mogelijk maakt. Nog minder mensen realiseren zich dat water onafscheidelijk verbonden is met het leven. Hoe stevig we ook mogen lijken, we zijn allemaal vloeibare wezens: bijna twee derde van het volume van het menselijk lichaam bestaat uit water. Goed beschouwd zijn cellen met water eigenlijk het enige wat een schimmel, een vlieg, en een mens gemeen hebben – als we de biochemische details tenminste buiten beschouwing laten.



GASVLAMMEN BELICHT

376

W.T.A. Borghols, H.B. Levinsky en D.L. van Oostendorp

Het veilig en storingsvrij functioneren van de toestellen waarin we aardgas verbranden vereist een stabiele vlam. Hoe de constructie van het toestel samenhangt met die stabiliteit is lang niet altijd te voorspellen. Een vlam is een zeer ingewikkeld fenomeen waarin een subtiel samenspel plaatsvindt van honderden chemische reacties in een stromende omgeving. De bijzonderheden van het verbrandingsproces bepalen zowel de stabiliteit van de vlammen als de vorming van schadelijke stoffen. Met behulp van laserlicht kunnen we deze details nu bestuderen zonder de vlam te verstoren.



NATUUR '90 & TECHNIEK

mei/ '58' jaargang/1990



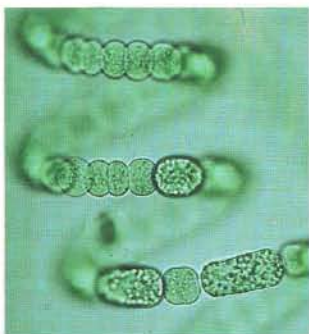
KUNSTMATIGE ONVRUCHTBAARHEID

388

De rem op reproductie

G.H. Zeilmaker

Op Aarde kunnen vermoedelijk veel meer mensen leven dan nu het geval is. Toch kan de huidige bevolkingsgroei zo niet langer doorgaan. In de afgelopen veertig jaar is de wereldbevolking verdubbeld van 2,5 tot 5 miljard mensen. In het jaar 2025 bevolken we de wereld met 8,5 miljard zielen. Uit de praktijk blijkt dat alleen door middel van actieve overheidsvoorlichting het geboortecijfer te verlagen is. De behoefte aan veilige anticonceptiemethoden is groot. Vele technische ontwikkelingen bestaan reeds, en waarschijnlijk heeft de toekomst in dit opzicht nog meer te bieden.



STIKSTOF

400

Kringloop tussen hemel en aarde

J.W. Woldendorp en H.J. Laanbroek

Bodem en oppervlaktewater krijgen steeds meer stikstof te verwerken. Dit leidt tot verontreiniging van het grondwater met nitraat en draagt bij aan de verzuring van de bodem en de aantasting van cultuurmonumenten. In de landbouw stond lange tijd de toevoer van stikstof voorop, maar thans is men de stof vaak liever kwijt dan rijk. Om de effecten van teveel stikstof te beperken, is inzicht in de natuurlijke stikstofkringloop noodzakelijk. In dit artikel komt die kringloop aan de orde, met vooral aandacht voor de micro-organismen die erbij betrokken zijn.



MISDAADANALYSE

412

Het oplossend vermogen van de natuurwetenschappen

E.R. Groeneveld

Al kan iemand zeggen een ander te hebben verwond door steken met een mes, toch biedt zo'n bekentenis onvoldoende grond om deze persoon te veroordelen. Er is meer nodig om te bewijzen dat een verdachte daadwerkelijk de snode misdaad beging. De gehele puzzel van feitjes en verklaringen, aangedragen door getuigen, verdachten of slachtoffers, moet passen, wil de rechter een rechtvaardig en rechtsgeldig oordeel vellen. Bij veel misdrijven nemen wetenschappers plaats in de getuigenbank. Zij hebben allerlei sporen geanalyseerd, die de ware toedracht helpen achterhalen.

ANALYSE EN KATALYSE

426

De industrialisatie van het onderzoek/Wiens plant?

PRIJSVRAAG

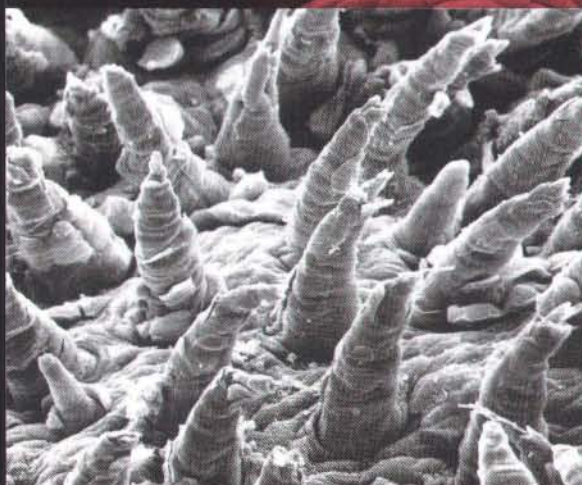
438

Enkele jaren geleden hebben prof. Kessel en dr. Kardon van de Universiteit van Iowa (V.S.) een imposante studie-atlas met ruim 700 scanning-elektronenmicroscopische opnamen samengesteld. Die atlas werd met groot succes voor het eerst uitgegeven in de Verenigde Staten door het bekende tijdschrift SCIENTIFIC AMERICAN. In het Nederlandse taalgebied bestond al jaren behoefte aan een dergelijke atlas. Op initiatief van NATUUR & TECHNIEK werd, ter gelegenheid van het 50-jarige bestaan van dit tijdschrift, een Nederlandse bewerking van deze atlas verzorgd door prof. dr. A.M. Stadhouders, Hoofd van het Centrum voor Electronenmicroscopie van de Kath. Universiteit te Nijmegen.

**De derde dimensie
van biologische structuren**



Een dwarsdoorsnede door de lensvezels uit de schors van onze ooglenzen (x810).



Draadvormige papillen op een rattetong (x215).

Formaat 27,5x24 cm.
In zwart-wit druk.
320 pagina's met ruim 700 illustraties.
Voorzien van een uitgebreid register en literatuurlijst.
Prijs: f 94,- of 1845 F.
Voor abonnees: f 65,- of 1275 F.

Het sterk geplooid slijmvlies van de blaas (x150).

Ook verkrijgbaar
in de erkende boekhandel.

Sinds enige jaren werkt men nu met een microscooptype dat ook de derde dimensie van biologische structuren voor onderzoek toegankelijk heeft gemaakt. Een geweldige vooruitgang, niet alleen op wetenschappelijk, maar ook op zuiver esthetisch gebied. De foto's die men met zo'n scanningelektronenmicroscop kan maken, geven vaak bijzonder fraaie en plastische beelden.

CELLEN, WEEFSELS EN ORGANEN is daarmee een fototekstatlas geworden die niet alleen een brede kring van studenten en docenten zal interesseren, maar ook voor medici, biologen, fysio-

logen, zoölogen en anatomen bijzonder waardevol is. Door de grote hoeveelheid zeer illustratieve foto's is deze atlas tevens een aanwinst voor elk wetenschappelijk instituut en iedere bibliotheek.

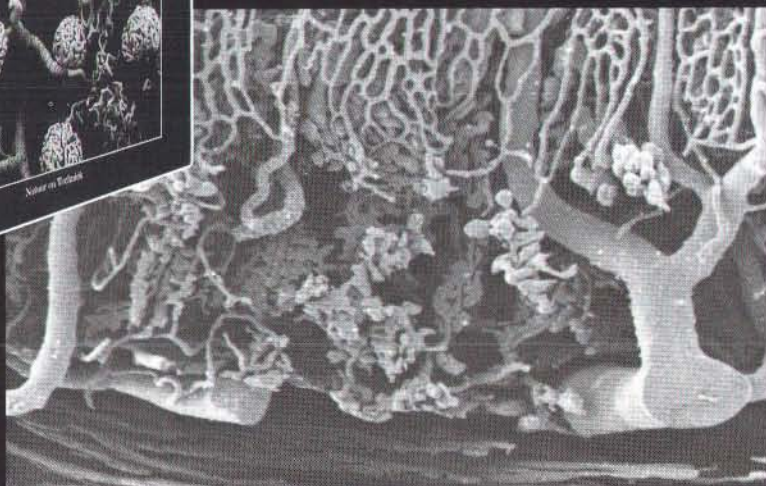
Elk van de zestien hoofdstukken bevat een inleiding waarin de algemene concepten die worden behandeld, staan beschreven. Aan de hand van de illustraties wordt vervolgens de functionele betekenis van de verschillende structuren getoond en beschreven. De weefsels zijn steeds in opklimmende vergroting te zien, zodat de lezer altijd de juiste oriëntatie behoudt.

CELLEN, WEEFSELS EN ORGANEN

Een scanning-elektronenmicroscopische
studie-atlas die actueel blijft



U kunt CELLEN,
WEEFSELS EN
ORGANEN bestellen
met bijgaande
antwoordkaart.



Afgezetel van het rijkvertakte vatennet in de dunne darm (x180).

SIMULATICA

Prof dr
H. Lauwerier

Johann Carl
Friedrich Gauss
(1777-1855)
noemt men wel
de vader van de
moderne
wiskunde.



Priemgetallen

De eerste priemgetallen, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, ..., kunnen we zo opschrijven. Handige rekenaars zien onmiddellijk dat die getallen geen delers hebben, wanneer we tenminste 1 en het getal zelf uitsluiten. Hoe kunnen we nu uitmaken of een groot getal als 1234567 wel of niet deelbaar is? Er bestaat daarvoor helaas geen andere methode dan domweg proberen of het getal soms kan worden gedeeld door een kleiner getal d . Voor het vaststellen van deelbaarheid door 2, 3, 5 en 11 bestaan er heel eenvoudige trucjes, maar daarna wordt het moeilijk. Er moet dus worden gerekend en dat kunnen we wel aan de computer overlaten.

Is het getal n deelbaar door d , dan is ook n/d een deler. Is n toevallig een kwadraat, dan kunnen de getallen d en n/d aan elkaar gelijk zijn, maar anders is altijd een van die twee kleiner dan n . Bij het zoeken naar een mogelijke deler behoeven we dus niet verder te gaan dan de grens \sqrt{n} . We zouden ons zelfs kunnen beperken tot het zoeken naar een eventuele deler d van n die zelf een priemgetal is. Helaas zit hier weinig systematiek in en is het moeilijk daar een eenvoudig computerprogramma op te baseren. We doen daarom maar liever wat meer en soms overbodig werk

door alle oneven getallen 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, ... als mogelijke deler te proberen. In de praktijk blijkt dat heel goed te werken en kunnen we met het onderstaande programma PRIEM snel vaststellen of n priem is of niet. Het getal 1234567 blijkt dan geen priemgetal te zijn, maar het is wel het produkt van de twee priemfactoren 127 en 9721.

Het programma werkt in deze vorm slechts voor een moderne versie van Basic als Turbo Basic of Quick Basic (de regelnummers zijn daarbij overbodig). Het probleem is namelijk dat in de oudere vormen van Basic het werken met gehele getallen gebonden is aan het maximum van $32767 (2^{15} - 1)$. In bijvoorbeeld Turbo Basic kent men daarentegen zogenaamde 'Long Integers' waarbij de bovengrens $2^{31} - 1$ is, als aangegeven in de regels 50 en 60.

Het programma zoekt eerst naar eventuele factoren 2. In de regels 70 tot en met 100 worden alle factoren 2 bepaald met behulp van een eenvoudige *while...wend*-lus. Daarna worden op dezelfde wijze de delers 3 verwijderd. De algemene lus in de regels 150 tot 200 toetst vervolgens op deelbaarheid door 5, 7, 11, ... telkens 2 verder totdat de grens \sqrt{n} bereikt is. Onderweg worden alle eventuele delers afgedrukt. Als we geen delers vinden, is n kennelijk een priemgetal. Critici van Basic zullen met genoegen de afwezigheid van *goto*'s constateren.

Het tafelkleedje van Van der Pol

De wis- en natuurkundige Balthasar van der Pol (1889-1959) was een zeer veelzijdig geleerde met veel hobbies en met een grote experimentele vaardigheid. Een van zijn 'grappen' was de vervaardiging van een priemgetallenkleedje. Het begrip priemgetal kan in de wiskunde heel ruim worden opgevat. Zodra een nieuwe getalsoort gedefinieerd is en de eigenschappen van deelbaarheid gelden, heeft het zin te spreken van een priemgetal. Zo'n getal heeft dan per definitie geen echte delers, dat wil zeggen geen eenheidsgetallen enzovoort.

```
10 REM ***FACTORISATIE VAN GROOT GETAL***
20 REM ***NAAM:PRIEM***
30 SCREEN 12 : CLS
40 J=1
50 DEFINT N
60 INPUT N : REM ***N<2147,483,647 ***
70 WHILE N/2=INT(N/2)
80 PRINT J,2 : J=J+1
90 N=INT(N/2)
100 WEND : F=3
110 WHILE N/3=INT(N/3)
120 PRINT J,3 : J=J+1
130 N=INT(N/3)
140 WEND
150 WHILE F<SQR(N+1)
160 F=F+2
170 WHILE N/F=INT(N/F)
180 PRINT J,F : J=J+1
190 N=INT(N/F)
200 WEND : WEND
210 PRINT J,N
220 END
```


Beschouwt men gehele getallen, dan zijn 1 en -1 de eenheden en is -13 een priemgetal evenals 13. Van der Pol maakte gebruik van de zogenaamde gehele getallen van Gauss, getallen die we kunnen opvatten als de roosterpunten van ruitjespapier. De getallen stellen we voor als de combinatie $x + iy$ of $x + yi$, waarbij i de zogenaamde imaginaire eenheid is. Kenners zien meteen dat het gaat om complexe getallen, maar wie daar geen verstand van heeft mist nauwelijks iets. De hoofdzak is dat we met die getallen van de vorm $x + yi$ op de gewone algebraïsche wijze kunnen rekenen mits we maar i^2 door -1 vervangen wanneer dat mogelijk is. Dan geldt de volgende vergelijking:

$$(a + bi) \cdot (c + di) = (ac - bd) + (ad + bc)i$$

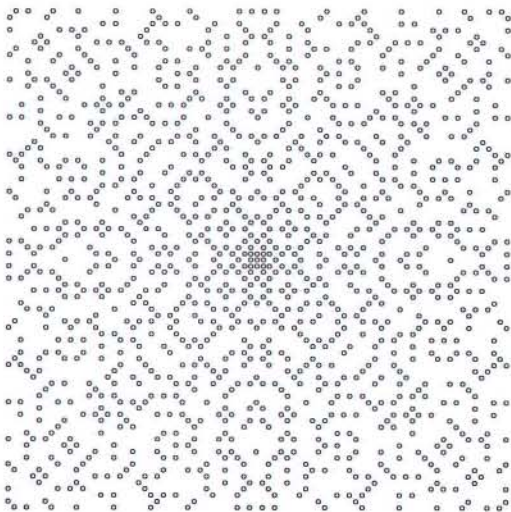
Deze regel van vermenigvuldiging kunnen we interpreteren als het vermenigvuldigen van vectoren. Als ten opzichte van de oorsprong O achtereenvolgens (a,b) de coördinaten van het punt P en (c,d) die van het punt Q zijn, dan kunnen we zeggen dat de vermenigvuldiging van de vectoren OP en OQ een produktvector OR oplevert waarbij R het punt is met de coördinaten $(ac - bd, ad + bc)$. We kunnen constateren dat bij die vermenigvuldiging ook voldaan is aan: $OP \cdot OQ = OR$, wat hetzelfde is als $(a^2 + b^2) \cdot (c^2 + d^2) = (ac - bd)^2 + (ad + bc)^2$.

De uitdrukking $a^2 + b^2$, dus de kwadraat-lengte van de vector OP , noemt men de norm van het getal $a + bi$.

We gaan dit even bekijken aan de hand van een voorbeeld:

$$8 - i = (2 + 3i) \cdot (1 - 2i)$$

Het getal $8 - i$ blijkt te kunnen worden opgebouwd uit twee delers en kan dus zelf deelbaar genoemd worden. Voor de overeenkomstige normen stellen we vast dat $65 = 13 \cdot 5$. Elk getal van Gauss is deelbaar door ± 1 en $\pm i$. Die tellen als eenheden en hun norm is 1. Bij de definitie van priemgetallen moeten we ze derhalve uitsluiten. Het getal $3 + 2i$ is een priemgetal. We stellen even vast dat de norm 13 is. Zou $3 + 2i$ deelbaar zijn dan zou ook de norm 13 deelbaar zijn. Die is echter zelf een priemgetal en zo is $3 + 2i$ een priemgetal van Gauss. Met $3 + 2i$ zijn ook $3 - 2i$, $-3 + 2i$ en $-3 - 2i$ priemgetallen. Echter, ook $\pm 2 \pm 3i$ zijn priemgetallen, en zo komen alle priemgetallen van Gauss voor in groepen van 8 (of 4). De gewone priemgetallen zijn in het stelsel van Gauss niet noodzakelijk priem. Zo



```

10 REM ***PRIEMGETALLEN VAN GAUSS***
20 REM ***NAAM:GAUSS***
30 SCREEN 9 : CLS
40 WINDOW (-60,-45)-(60,45)
50 N=40
60 FOR N2=0 TO N : FOR N1=N2 TO N
70 S=SQR(N1*N1+N2*N2)
80 FOR F2=0 TO INT(SQR(S)) : FOR F1=0
  TO INT(SQR(S-F2*F2))
90 F=F1*F1+F2*F2
100 IF F=0 OR F=1 THEN GOTO 130
110 A=(N1*F1+N2*F2)/F : B=ABS(N1*F2-N2*F1)/F
120 IF A-INT(A)=0 AND B-INT(B)=0 THEN GOTO 180 :
  REM ***GEEN PRIEM***
130 NEXT F1 : NEXT F2
140 CIRCLE (N1,N2),.2 : CIRCLE (N2,N1),.2
150 CIRCLE (-N1,N2),.2 : CIRCLE (-N2,N1),.2
160 CIRCLE (-N1,-N2),.2 : CIRCLE (-N2,-N1),.2
170 CIRCLE (N1,-N2),.2 : CIRCLE (N2,-N1),.2
180 NEXT N1 : NEXT N2
190 A$=INPUT$(1) : END

```

is bijvoorbeeld $13 = 13 + 0i = (3 + 2i) \cdot (3 - 2i)$. Maar men kan wel bewijzen dat alle gewone priemgetallen die gelijk zijn aan een viervoud minus 1, ook als Gauss-getal priem zijn.

Van der Pol liet ter gelegenheid van een internationaal congres te Amsterdam in 1954 een kleedje weven waarin de priemgetallen van Gauss binnen een vierkant met hoekpunten $\pm 40 \pm 40i$ als blokjes waren afgebeeld. Het patroon is kennelijk symmetrisch omdat de priemgetallen in groepjes als $\pm a \pm bi$ en $\pm b \pm ai$ voorkomen. Originele exemplaren van het kleedje zijn zeldzaam geworden maar het patroon kan op het beeldscherm zonder moeite verkregen worden met behulp van het bovenstaande programma GAUSS.

Het priemgetallenkleedje, zoals getekend door het programma GAUSS.

Dr W.H. Lindhout ('Toma-ten') werd op 20 november 1953 in Noordwijk geboren. Hij studeerde van 1971 tot 1980 scheikunde en biologie aan de RU Leiden, waar hij in 1985 promoveerde. Sindsdien is hij als tomatoloog verbonden aan het Centrum voor Plantenveredelingsonderzoek (voorheen Instituut voor Veredeling van Tuinbouwgewassen) te Wageningen.

Dr Th. Kramer ('Tomaten'), geboren te Finsterwolde in 1944, studeerde aan de LU Wageningen. Hij deed onderzoek aan de University of California te Davis, waar hij in 1973 promoveerde, verrichtte enkele jaren onderzoek in Italië en was universitair docent te Wageningen. Sinds 1987 is hij hoofd van de hoofdafdeling groente- en fruitgewassen van het CPO te Wageningen.

Prof dr W. Drost-Hansen ('Water') is hoogleraar scheikunde en directeur van het laboratorium voor wateronderzoek aan de universiteit van Miami, Florida. Hij werd in 1925 geboren in Chicago en studeerde fysische chemie aan de universiteit van Kopenhagen, waar hij in 1950 promoveerde.

J. Lin Singleton ('Water') werd op 25 augustus 1955 geboren in Tampa, Florida. Van 1972 tot 1981 studeerde zij moleculaire biologie aan de universiteit van Miami. Zij zette haar studie tot 1987 voort als graduate student aan dezelfde universiteit. Sinds 1987 is ze directrice van het AIDS-onderzoekslaboratorium in Miami.

Dr W.T.A. Borghols ('Gasvlammen'), geboren op 26 juli 1960, studeerde natuurkunde in zijn geboorteplaats aan de Universiteit van Amsterdam. Hij deed kernfysisch onderzoek bij het NIKHEF-K te Amsterdam en het KVI te Groningen. In

1988 promoveerde hij in Groningen. Sindsdien is hij medewerker verbrandingsonderzoek bij Gasunie-research.

Dr H.B. Levinsky ('Gasvlammen') werd op 11 december 1953 in Paterson, New Jersey geboren. Hij studeerde scheikunde aan New York University, waar hij in 1981 promoveerde. Daarna was hij twee jaar wetenschappelijk medewerker aan de RU Groningen. Sinds 1985 is hij projectleider achtergrondonderzoek verbranding bij Gasunie.

D.L. van Oostendorp, M.Sc. ('Gasvlammen') werd geboren in Goshen, New York op 10 oktober 1959. Hij studeerde scheikunde natuurkunde aan het Rochester Institute of Technology en aan de Fairleigh-Dickinson University. Van 1979 tot 1986 werkte hij als chemicus en werktuigbouwkundige bij diverse Amerikaanse bedrijven. Sinds 1987 is hij onderzoeksmedewerker bij Gasunie.

Prof dr G.H. Zeilmaker ('Onvruchtbaarheid'), in 1936 geboren te Haarlem, studeerde biologie aan de Universiteit van Amsterdam, waar hij in 1964 promoveerde. Van 1958 tot 1969 was hij onderzoeker bij het Kankerinstituut te Amsterdam. Momenteel is hij hoogleraar fysiologie van de voortplanting aan de Erasmusuniversiteit Rotterdam.

Dr ir J.W. Woldendorp ('Stikstof') werd op 27 juni 1933 geboren in Veendam. Hij studeerde aan de LU Wageningen, waar hij in 1963 promoveerde. Hij was na zijn studie microbiologisch onderzoeker aan de LUW en van 1965 tot 1972 hoofd biologische research bij DSM in Geleen. Sinds 1972 is hij directeur van het Instituut voor Oecologisch Onderzoek van de KNAW.

Dr H.J. Laanbroek ('Stikstof') werd op 22 december 1951 in Emmeloord geboren. Hij studeerde biologie aan de RU Groningen, waar hij in 1978 promoveerde. Daarna was hij post-doc microbioloog in Göttingen en Groningen en onderzoeker bij het Delta-instituut te Yerseke. Sinds 1985 is hij afdelingshoofd bodembioologie bij het IOO te Heteren.

Prof dr E.R. Groeneveld ('Misdaadanalyse') is in 1934 in Aken geboren. Hij studeerde aan de Universiteit van Amsterdam en promoveerde daar in 1967. Na zijn promotie werd hij wetenschappelijk medewerker van het Gerechtelijk Laboratorium en in 1983 directeur. Sinds 1980 is hij tevens buitengewoon hoogleraar criminalistiek aan de RU Leiden.

TOEKOMST
van de **TIJD**

De
tijdreis
van je
leven

uniek
digitaal
planetarium

SPECTACULAIR RUIMTELIJK THEATER

11 uur

OMNIVERSUM
DEN HAAG

Stap even in
'n andere wereld.

070-354 54 54

Complexiteit

We zijn er zo'n beetje aan gewend geraakt dat de wetenschap onbegrijpelijke dingen in een simpel verband plaatst. $V = I \cdot r$, $F = m \cdot a$, $E = m \cdot c^2$, $E = h \cdot \nu$ en, de betekenis mag al wat moeilijker worden, zelfs een uitdrukking als $m_v = m_0 \cdot (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ is toch vrijwel in een oogopslag te overzien. Geen wonder misschien dat die formulepjes tot de tophits van de wetenschap behoren, bij uitstek geschikt voor gebruik bij bruiloften, partijen en televisie-quizen.

Eenvoud is zelfs tot een geloofsartikel van de moderne wetenschap geworden, sinds in de dertiende eeuw de Britse bisschop Ockam onderzoekers adviseerde theorieën met een scheermes van alle versierselen te ontdoen: de eenvoudigste oplossing is altijd de beste.

Er zijn ook praktische redenen om eenvoud na te streven. Zodra een onderzoek te complex wordt en er te veel variabelen binnenkomen, verliezen we het overzicht en weten we niet meer waar we het precies over hebben. Met twee, drie, hooguit vier variabelen heeft de programmeur van een grote computer (en dat is toch eigenlijk wat de moderne theoreticus is) zijn handen al meer dan vol. Zodra de verschijnselen niet tot de allersimpelste behoren, krijgt de computer er ook moeite mee – of komt het budget voor rekentijd wel in het gedrang. He-laas, de natuur trekt zich niet zoveel aan van ons streven naar schone eenvoud. Voor een deel betekent zulks, dat theoretici dan maar in arren moede doen alsof ze niet weten dat er veel meer factoren zijn dan zij in hun model kunnen verwerken. Voor een ander deel geeft het de wetenschappelijke priegelaars de kans jaar na jaar in hun fascinerende detailwerk te duiken. Er is een Chinees verhaal waarin iemand vraagt: Hoe lang duurt de eeuwigheid? Het antwoord is: Elke eeuw komt er een vogeltje zijn snavel slijpen aan de Himalaya; wanneer de Himalaya door dat slijpen geheel is afgeslepen, is er een seconde van de eeuwigheid voorbij. Een echt antwoord is het niet, maar het geeft een soort beeld van de taaie vasthoudendheid die nodig is als we de grootse theorie verlaten, en gaan kijken hoe de werkelijkheid in elkaar zit.

Het was allemaal zo overzichtelijk: $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$. Maar Borghols, Levinsky en Van Oostendorp vertellen ons (p. 376) dat er tientallen tussenreacties in een echte vlam zijn, en als er door een of andere oorzaak met één van die tussenreacties iets mis gaat, dan krijgen we natuurlijk nooit onze mooie netto-reactie, en dat betekent luchtverontreiniging of kans op vergiftiging, en in elk geval duurdere warmte.

Dat er met water iets vreemds aan de hand is was eigenlijk allang duidelijk. Het gewone H_2O dat we drinken en waarin we zwemmen is al jaren onverklaarbaar. Maar na lezing van het artikel van Drost Hansen en Lin Singleton (p. 364) blijkt het allemaal nog ingewikkelder te zijn. Eigenlijk zijn alle artikelen in dit nummer voorbeelden van een wetenschap die niet voldoet aan de verwachting dat ze ons wereldbeeld vereenvoudigt. Heel fundamenteel blijft gelden dat de complexiteit die de wetenschap aankan beperkt is, maar het hier beschreven fascinerende monnikenwerk geeft een betrouwbaarder benadering van de werkelijkheid dat het weidse gebaar van de omvattende theoreticus.



**Pim Lindhout
en
Thomas Kramer**
*Centrum voor
Plantenveredelingsonderzoek,
Wageningen*

van



TOMATEN

Een eeuw geleden genoot de tomaat nog nauwelijks bekendheid als voedselbron. Thans is zij het belangrijkste groentegewas ter wereld. Dankzij hun inspanningen kunnen veredelaars voldoen aan de steeds grotere en specifiekere vraag naar tomaten. Zij hebben rassen ontwikkeld voor zeer uiteenlopende teeltwijzen en klimaten, aangepast aan de specifieke eisen voor industriële verwerking of verse consumptie. Aanvankelijk kon de veredelaar de aanwezige variatie binnen de soort of in wilde verwanten op eenvoudige wijze benutten. Thans is de veredeling zo complex geworden dat interdisciplinaire samenwerking nodig is om nog vooruitgang te boeken. Binnen de celbiologie en de moleculaire biologie zijn de laatste jaren technieken ontwikkeld, die de introductie van allerlei nieuwe eigenschappen in de tomaat mogelijk maken.

massaselectie tot manipulatie

De tomaat (*Lycopersicon esculentum* var. *esculentum*) komt oorspronkelijk uit Zuid-Amerika. De soort komt niet voor in het wild, maar is vermoedelijk gedomesticeerd uit de wilde variëteit *L. esculentum* var. *cerasiforme*, een kerstomaat. Door de indianen is de tomaat verspreid tot in Midden-Amerika. Nadat Columbus daar voet aan wal zette, zijn er al spoedig zaden van tomaten meegenomen naar Europa.

Aanvankelijk beschouwde men de tomaat niet als voedselbron, maar kende men er mysterieuze krachten aan toe. Gedurende enkele eeuwen kreeg zij illustere namen zoals 'pomme d'amour' (liefdesappel, Fr.) of 'pomodoro' (goudappel, It.). Pas aan het einde van de negentiende eeuw was zij algemeen geaccepteerd en werd op grotere schaal geconsumeerd. Thans is de tomaat wereldwijd het belangrijkste groentegewas in de tuinbouw. Nederland en België produceren jaarlijks voor meer dan 1 miljard gulden of 18 miljard frank tomaten, waarvan meer dan negentig procent wordt geëxporteerd.

Landrassen en zaadvaste rassen

De Zuidamerikaanse indianen waren de eerste tomaatveredelaars. Vermoedelijk hebben zij zaden van de beste tomaten bewaard om deze het jaar daarop uit te zaaien. Deze vorm van positieve massaselectie heeft geresulteerd in een toename van de vruchtgrootte. De toenmalige populaties waren genetisch zeer heterogeen. Na de introductie van de tomaat in Europa is er aanvankelijk nauwelijks aandacht aan de veredeling besteed. Voor zover die al plaats vond betrof dit eveneens selecties in bestaande populaties.

In 1900 publiceerde de Nederlander Hugo de Vries over de erfelijkheidsleer van Mendel, wat een belangrijke impuls gaf aan de toepassing ervan in de veredeling. Rond 1920 werden de eerste kruisingen uitgevoerd om gunstige eigenschappen van verschillende rassen in een nieuw ras te combineren. In de volgende generaties werden de beste planten aangehouden en zelfbevrucht. De rassen die hieruit voortkwamen waren vaak lang niet zuiver.

Om dit te illustreren veronderstellen we dat in het meest eenvoudige geval het verschil tussen twee rassen berust op één stukje van het DNA. Als dit stukje DNA (een *locus*) verant-

woordelijk is voor de genetische codering van een bepaalde functie, dan is de *hybride* (= bastaard, nakomeling met eigenschappen van beide ouderrassen) van de kruising voor deze eigenschap heterozygoot. De locus van de ene ouder heeft bijvoorbeeld het genotype AA (tomaten zijn diploïd, dat wil zeggen bezitten van elk chromosoom, en dus van elke locus, in iedere normale cel twee exemplaren), die van de andere ouder het genotype aa. De hybride is dan Aa. Na zelfbevruchting van een hybride plant ontstaan in de nakomelingschap planten van het genotype AA (25%), aa (25%) en Aa (50%). De homozygote genotypen AA en aa zijn elk voor zich *zaadvast*, want na zelfbevruchting ontstaan identieke nakomelingen. Het heterozygote genotype Aa splitst na zelfbevruchting uit in drie genotypen.

Wanneer de ouderlijnen van een kruising voor meerdere loci van elkaar verschillen, neemt het mogelijke aantal verschillende homozygote nakomelingen sterk toe (2^n , n = aantal loci). Voor het verkrijgen van een zuiver ras is het nodig om een aantal generaties



1

1. Dit is de oudste tekening van een 'pommo d'oro' die uit Italië bekend is. Ze stamt uit 1585.

lang steeds per plant de nakomelingen apart te houden. In elke generatie zelfbevruchting neemt de heterozygotie af, waardoor de gelijkens tussen ouderplant en nakomelingen toeneemt. Pas bij volledige homozygotie voor alle loci kan men spreken over een zuiver tomataras. Onzuivere rassen, waarin nog heterozygotie voorkomt, of die bestaan uit mengsels van verschillende homozygote genotypen worden *landrassen* genoemd.

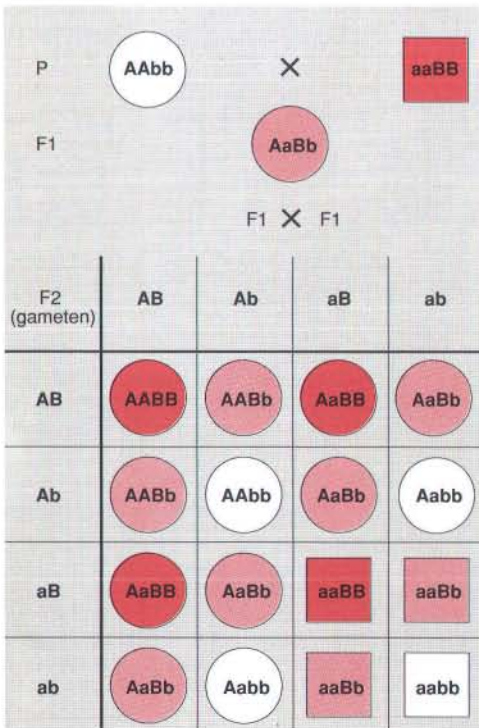
Eén van de populairste landrassen was het ras Ailsa Craig. Van dit ras werden verschillende selecties verhandeld. Elk veredelingsbedrijf hield er zijn eigen selectie op na en claimde dat die beter was dan die van de concurrent.

Later kwamen er meer zaadvaste rassen in de handel. Selectie binnen zulke rassen was zonder effect. Alle genotypen van zo'n ras zijn immers identiek. De zaadvaste rassen zijn inmiddels weer grotendeels vervangen door hybride rassen. Alleen voor de teelt van industrietomaten worden nog veel zaadvaste rassen gebruikt. Het hybride zaad is voor deze vrij extensieve teelten te duur.

Hybride rassen

Naarmate zaadfirma's zich meer gingen toeleggen op de veredeling, ging men beseffen dat grote investeringen in veredelingsprogramma's niet rendeerden, omdat zaadvaste rassen gemakkelijk konden worden nageteeld. De nakomelingen van gekochte zaden zijn immers identiek aan de ouders en zelf gewonnen zaden zijn nu eenmaal veel goedkoper dan gekochte zaden. Gedeeltelijk is dit probleem opgelost door zaadvaste rassen als wettelijk eigendom van de kweker te gaan beschouwen. Deze kwekersbescherming heeft een belangrijke stimulans gegeven aan de veredeling, omdat nu met een succesvol nieuw ras de geïnvesteerde gelden ruimschoots kunnen worden terugverdiend.

Na de Tweede Wereldoorlog werden de eerste hybride rassen ontwikkeld. Het zaad van deze rassen wordt gewonnen uit kruisingen van zuivere lijnen. Er zijn grote voordelen verbonden aan de veredeling van hybride rassen. Ten eerste kunnen eigenschappen van bei-



2. Hybride rassen (F1-generatie) ontstaan na kruising van twee volledig homozygote ouderlijnen (P-generatie). A is het volledig dominante allel voor resistentie tegen de aandoening verticillium; elke plant met dit allel (rond) is resistent. B is het gedeeltelijk dominante allel voor resistentie

tegen wortelknobbelaaltjes. Donker gekleurde planten zijn geheel resistent tegen de aaltjes, licht gekleurde gedeeltelijk en witte niet. F1 is geheel resistent tegen verticillium en gedeeltelijk tegen wortelknobbelaaltjes, maar niet zaadvast. In F2 splitsen de eigenschappen weer uit.

de ouderlijnen er efficiënt in worden gecombineerd. Dit geldt voor alle dominante eigenschappen. Voor de meeste ziekteresistenties is bijvoorbeeld maar één dominant gen verantwoordelijk. Het is veel makkelijker om slechts in één van de ouders dit gen in te kruisen dan in beide ouderlijnen. Ten tweede zijn hybride rassen uniformer dan zaadvaste rassen. Zowel zaadvaste als hybride rassen zijn zelden helemaal zuiver. In hybride rassen komt deze geringe genetische onzuiverheid niet tot uiting, in zaadvaste rassen wel.

Het derde voordeel is vooral commercieel: bij nateelt van hybride rassen splitsen de nakomelingen voor allerlei eigenschappen uit, wat voor een moderne teelt onacceptabel is. Een hybride ras 'beschermt' zichzelf. Ook zonder wettelijke kwekersbescherming zal geen nateelt plaatsvinden. De meeste veredelaars vragen op hybride rassen dan ook geen kwekersbescherming aan. Na 1970 zijn vrijwel alle Nederlandse en Belgische zaadvaste rassen door hybride verdrongen. Er zijn tomaterrassen ontwikkeld met de meest uiteenlopende eigenschappen voor vruchtgrootte en -vorm, gewastype, bloei- en oogstperiode, produktie, kwaliteit, ziekteresistentie en aanpassing aan speciale teeltgebieden en -omstandigheden.

Kastomaten

In Nederland en België worden tomaten voor de verse consumptie uitsluitend in kassen geteeld. De teelt is zeer arbeidsintensief en wordt gekenmerkt door een hoge graad van controle op de optimale voedings- en klimaatcondities voor de groei en ontwikkeling van de planten. De planten worden op steenwolmatten geteeld en krijgen voeding via een automatisch druppelsysteem. Afhankelijk van de weersgesteldheid en de groei van de plant wordt de hoeveelheid en de samenstelling van de vloeibare voeding geregeld, om een optimaal gewas en een maximale produktie te verkrijgen. Het ziet er naar uit dat er binnen enkele jaren recirculerende systemen zijn ingevoerd, waardoor de overvloedige voeding hergebruikt kan worden. Nu loopt steeds water met meststoffen de grond in, wat leidt tot eutrofiëring van het grondwater. (Zie ook het artikel van J.W. Woldendorp en H.J. Laanbroek over de stikstofkringloop op pag. 400 van dit nummer.)

Tijdens de teelt vindt nauwelijks chemische bestrijding van ziekten en plagen plaats: de rassen zijn resistent tegen de meeste schimmels, bodempathogenen komen in de steenwolmatten nauwelijks voor en insecten worden biologisch bestreden. In Nederland en België worden alleen doorgroeïende rassen (Intermezzo) gebruikt. 's Winters worden jonge planten in de kas uitgeplant en de eerste rijpe vruchten hangen al in maart aan de plant. Dezelfde planten produceren het hele jaar door tot in november. Gemiddeld levert één plant twintig kilo tomaten op. De vruchten worden



3



4

4. In de moderne teelt van tomaten voor verse consumptie, groeien de planten niet in de grond, maar in steenwolmatten. De matten zijn vrij van ziektekiemen, die wel in de bodem voorkomen. Een automatisch druppelsysteem voorziet de planten van voedingsstoffen en water.

met de hand geoogst, gesorteerd en via veilingen op de lokale of internationale markten verhandeld. De ronde tomaat kent de hoogste omzet. De vleestomaat wordt steeds meer gevraagd en de laatste jaren heeft ook de voortreffelijk smakende kerstomaat belangrijk aan populariteit gewonnen.

Industrietomaten

In gebieden met een mediterraan klimaat worden veel tomaten geteeld voor industriële verwerking. De teelt vindt gedurende de zomermaanden plaats in de volle grond. Voor deze teelt worden zelftoppende tomaterrassen (Intermezzo) gebruikt, die een gelijktijdige bloei en

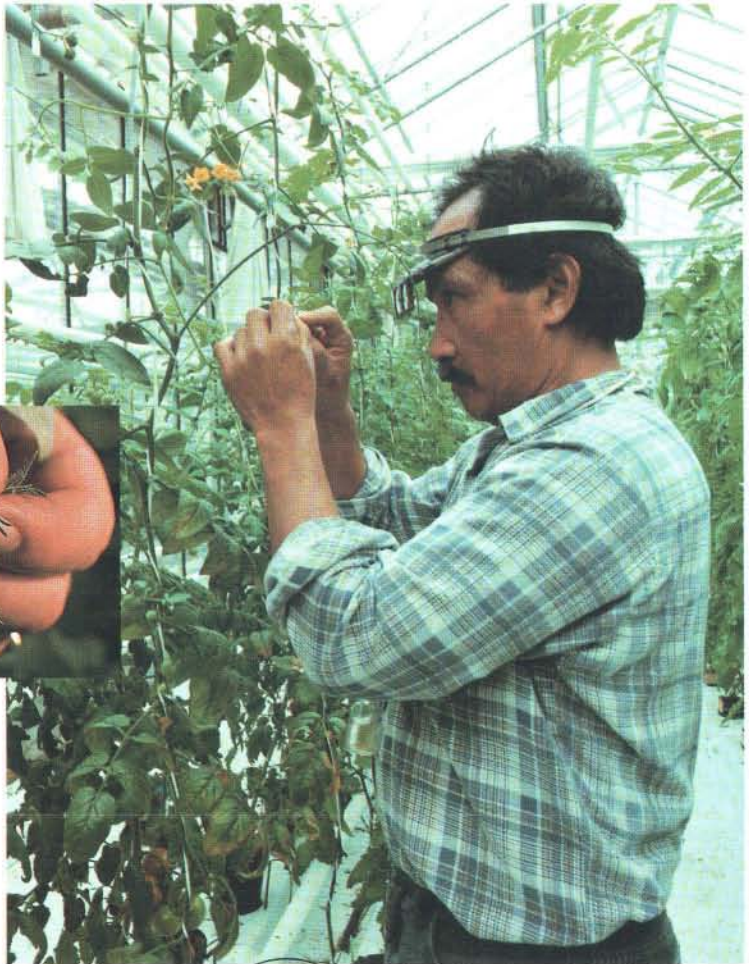
vruchtrijping hebben, zodat het mogelijk is de tomaten in één keer te oogsten. Tegenwoordig gebeurt dat als regel machinaal. De dikte van de vruchtwand is een heel belangrijke eigenschap van deze rassen. Naarmate die dikker is, is ook de stevigheid beter en zijn de tomaten beter geschikt voor de machinale pluk.

Een andere belangrijke eigenschap voor industrierassen is een hoog droge-stofgehalte. Omdat industrietomaten worden ingedikt tot een bepaald gehalte aan droge stof, zijn tomaterrassen met een hoger droge-stofgehalte aantrekkelijker. Dit werkt kostenbesparend in het verwerkingsproces. Ook de intensiteit van de kleur is belangrijk. Industrietomaten worden verwerkt tot ketchup, puree of tot een droog

3, 5 en 6. Omdat de tomaten een zelfbestuiver is, gaat het maken van kruisingen niet vanzelf. Uit de te bestuiven bloemen worden eerst de meeldraden verwijderd, waarna op de stempel stuifmeel van een gewenste bestuiverplant wordt gebracht. Labeltjes (3) verraden welke bloem met welk stuifmeel is bestoven.



5



6

De tomaat

De tomaat behoort tot de nachtschadefamilie of Solanaceae. Tot deze familie behoren ook andere belangrijke cultuurgewassen, zoals tabak, aardappel, paprika en aubergine. Het vrij kleine geslacht *Lycopersicon* bestaat uit een aantal soorten, die worden onderscheiden in twee groepen op basis van kruisbaarheid met de cultuurtomaat (*Lycopersicon esculentum*). De soorten die goed kruisbaar zijn, worden tot het esculentum-complex gerekend; de zeer moeilijk tot niet kruisbare soorten tot het peruvianum-complex. De eigenschappen in de verschillende kruisbare soorten zijn van groot belang voor de veredeling. Met name vele ziekteresistenties komen voor in wilde verwanten van de tomaat.

Kenmerkend voor het geslacht *Lycopersicon* zijn de vijftallige bloemen, bestaande uit vijf kelk- en kroonbladen en vijf met elkaar vergroeide meeldraden, die een kokertje vormen waarbinnen zich de stijl bevindt. Doordat de meeldraden zich overlangs aan de binnenzijde openen om het stuifmeel vrij te laten, komt het stuifmeel op de zich strekkende stempel terecht. Dit mechanisme verzekert de zelfbevruchting. De soort *esculentum* kenmerkt zich verder door de vleesachtige rode vruchten. De bladeren zijn sterk geleed.

Strikte zelfbevruchting heeft zeer belangrijke gevolgen voor de veredeling van de tomaat. Zelfbevruchting leidt er toe dat planten identieke nakomelingen hebben. Rassen, die door zelfbevruchting ontstaan, heten daarom zaadvast. In de kern van elke cel liggen 12 paren chromosomen, waarvan elk paar volledig identiek is. Alle eigenschappen zijn dan in homozygote vorm aanwezig.

Groei, bloei en vruchtontwikkeling

De tomaat is een eenjarige kruidachtige plant, die goed groeit tussen 18 en 25°C. Het is een warmteminnend gewas. De groei van de hoofdstengel eindigt in een bloeiwijze met ongeveer tien bloemen. In de oksel van de bloeiwijze vormt zich een nieuwe stengel, die als schijnhoofdstengel enkele bladeren vormt en daarna weer eindigt in een bloemtros.

Er bestaan zelftoppende en doorgroeiende tomaterrassen. Bij zelftoppers eindigt de hoofdstengel in een bloeiwijze en loopt de schijnhoofdstengel niet uit. Bij de doorgroeiende typen loopt in de oksel van de bloeiwijze steeds weer een nieuwe stengel uit. Dit kan zich in principe voortdurend herhalen. Doordat de schijnhoofdstengel zich sterk verdikt en de bloei-



I-1

produkt voor soepbereiding. In Italië is de geschildte peervormige tomaat een belangrijk produkt; die wordt als hele vrucht ingeblikt.

Ziekten, plagen en resistenties

Bij de meeste gewassen vormen ziekten en plagen een belangrijke bedreiging voor de oogstzekerheid en de kwaliteit van het eindprodukt. De tomaat wordt bedreigd door meer dan 200 verschillende ziekteverwekkers. De aantasting door deze belagers hangt sterk af van de resistentie van het ras, de aanwezigheid van de

ziekteverwekker en de milieu-omstandigheden, waaronder het vochtgehalte van de lucht, de temperatuur en de voedingstoestand van de plant. De in België en Nederland geteelde rassen bevatten resistenties tegen de meest voorkomende ziekten. Resistentie berust meestal op dominante genen, die een volledig of vrijwel volledig effect hebben. Zoals al eerder genoemd, is dit voor het maken van hybride rassen heel belangrijk.

De meeste resistenties zijn niet aanwezig in de cultuurtomaat, maar zijn afkomstig uit verwante, wilde soorten van het geslacht *Lycoper-*

INTERMEZZO

wijze opzij drukt lijkt de plant één hoofdstengel te hebben.

Uit de oksels van de bladeren ontwikkelen zich eveneens nieuwe zijscheuten. Deze dieven moeten voor een goede vruchtvorming regelmatig worden verwijderd. Dit kost veel arbeid.

Bloei en de daarop volgende bestuiving zijn nodig voor vruchtzetting. Bij zelftoppers vindt de bloei, en dus de vruchtzetting, bij alle bloemen van één plant vrijwel gelijktijdig plaats. Bij de doorgroeiende rassen volgen bloei, vruchtzetting en -ontwikkeling elkaar op gedurende de gehele levenscyclus van de plant. De eerste bloeiwijze ontstaat nadat acht bladeren zijn afgesplitst.

De vrucht is opgebouwd uit een vruchtwand die in dikte en stevigheid sterk kan variëren. Binnen de vruchtwand liggen twee of meer hokken of holten, waarin zich de zaden bevinden. Deze zijn omgeven door een gelei-achtige massa. Onze ronde kastomaat is twee-hokkig, de vleestomaat meer-hokkig. De vruchten kunnen sterk in grootte verschillen, van ongeveer vijftien gram voor een kerstomaat tot wel vierhonderd gram voor een vleestomaat. De duur van vruchtzetting tot rijpheid varieert in onze streken van vijftig tot zeventig dagen.



I-1. Tomaten in vele vormen, van de vleestomaat via de 'gewone', de peervormige en de kerstomaat naar *L. peruvianum* (rechts), een wilde tomaat.

sicon. Deze resistenties worden overgebracht door een soortkruising te maken en in de volgende generaties nakomelingen te selecteren op resistentie. Na een aantal malen terugkruisen met de cultuurtomaat onder gelijktijdige selectie op resistente planten verkrijgt men uiteindelijk een nieuw ras, verrijkt met het resistentiegeen tegen de betreffende ziekte.

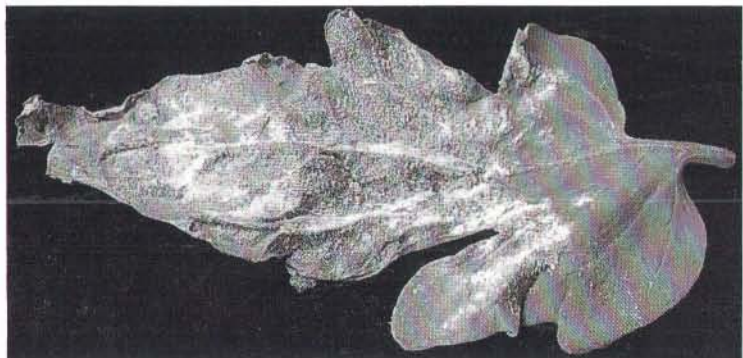
Biotechnologie

Rasverbetering door kruisingsveredeling is beperkt tot eigenschappen, die aanwezig zijn in de soort of in verwante soorten. Met de ontwikkeling van de biotechnologie zijn nieuwe technieken beschikbaar gekomen, die het genetisch arsenaal van de veredelaar belangrijk uitbreiden en planten beter selecteerbaar maken.

Onder de juiste omstandigheden kunnen plantecellen of -weefsels uitgroeien tot volledige individuen. Bij dit proces van *somatische regeneratie* kunnen planten ontstaan, die ten opzichte van de uitgangsplanten genetisch veranderd zijn. De oorzaak van deze *somaclonale variatie* is nog onbekend; naar de aard ervan wordt veel onderzoek verricht. Er zijn enkele meldingen van eigenschappen die na regeneratie in tomataplanten gevonden zijn, zoals resistenties tegen het tabaksmozaïekvirus (veroorzaakt een vlekkerige vergeling van de bladeren en daardoor een groeistoornis) en tegen de *Fusarium*-schimmel, die vaatverstopping en verwelking veroorzaakt. Als deze resistenties stabiel blijken kunnen ze een aanvulling betekenen van de resistenties in tomaat.

Door het verwijderen van de celwand ontstaan uit losse plantecellen protoplasten, die

7. De schimmel *Oidium* veroorzaakt echte meeldauw, een van de vele ziekten die een succesvolle oogst in de weg kan staan. Gelukkig zijn moderne tomatenrassen resistent tegen de meeste ziekteverwekkers.



door een chemische of elektrische behandeling kunnen versmelten. Dit staat bekend als *celfusie*. Als protoplasten van verschillende ouders met elkaar versmelten ontstaan na regeneratie nieuwe planten, die de eigenschappen van beide ouders in zich combineren. Deze techniek is onafhankelijk van kruisingsbarrières. Zo is ooit een fusie uitgevoerd tussen tomaat en aardappel. Deze 'pomato' heeft echter niet veel opgang gemaakt, omdat de gehoopte combinatie van tomatenvruchten en aardappelknollen niet aanwezig was.

Door de fusie verdubbelt het aantal chromosomen. Dat is ongunstig voor de teelt, want tetraploïde tomaten zijn minder vruchtbaar en minder produktief. Herhaalde terugkruisingen met diploïde tomaten kunnen het aantal chromosomen weer verminderen, maar dit gaat erg moeizaam omdat tomaten met een afwijkend chromosoomaantal (aneuploïden) veel zwakker en meestal onvruchtbaar zijn. Er wordt wel getracht deze problemen te omzeilen door één van beide fusiepartners te bestralen, waardoor de chromosomen breken. De chromosoomfragmenten recombineren dan met intacte chromosomen van de andere partner. Vooralsnog is dit nog niet goed gelukt. Het ziet er naar uit dat we geen wonderen van deze techniek mogen verwachten en dat succes vooral aanwezig is in die gevallen waarin de beide ouders verwant zijn.

8 en 9. De dieprode peer-vormige tomaat wordt vooral gebruikt voor industriële verwerking. De tomaten worden na een grondige wasbeurt in de installatie linksboven (9) tot puree ingedikt.



8



9

10. Industrietomaten zijn meestal zelftoppende rassen, zodat alle vruchten tegelijk rijp zijn en machinaal kunnen worden geoogst.



10



11. Tomaten die bedoeld zijn voor verse consumptie worden, in tegenstelling tot pureetomaten, voorzichtig met de hand geplukt, gesorteerd en verpakt.

Transformatie

Voor de meeste eigenschappen van de tomaat is niets bekend over de moleculaire biologie van de genen, die bij de eigenschap betrokken zijn. Plantechromosomen zijn door hun complexiteit moeilijk toegankelijk voor moleculair-biologisch onderzoek. Lagere organismen zoals virussen en bacteriën zijn veel minder complex. Er is dan ook veel meer bekend over de moleculair-genetische organisatie van deze organismen. Dergelijke organismen bezitten

soms genen voor eigenschappen die gewenst zijn voor de tomaat, bijvoorbeeld genen die verantwoordelijk zijn voor de productie van stoffen die toxisch zijn voor insecten.

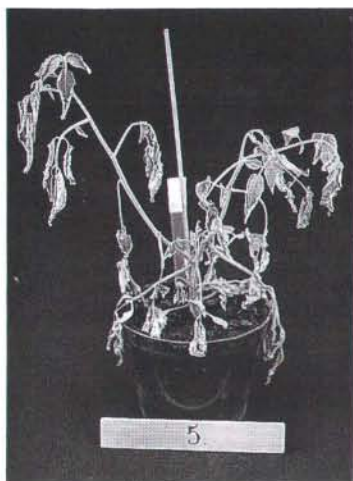
Inmiddels zijn toxinegenen geïsoleerd en overgebracht naar de chromosomen van de tomaat. Voor dit proces wordt de hulp ingeroepen van een bacterie (*Agrobacterium tumefaciens*), die in staat is om het specifieke stukje DNA naar plantecellen over te dragen. Zo ontstaan plantecellen die met het gen verrijkt zijn. Onder de juiste omstandigheden regenereren de cellen tot volledige, geheel getransformeerde planten, die het toxine produceren. Zulke *transgene* planten dragen op de normale wijze de nieuwe erfelijke informatie over aan hun nakomelingen.

Een ander voorbeeld is virusresistentie. Plantevirussen bevatten erfelijke informatie voor slechts enkele eigenschappen. De nucleotidevolgorde van de genen van het tabaksmozaïekvirus (TMV) is opgehelderd. Deze genen

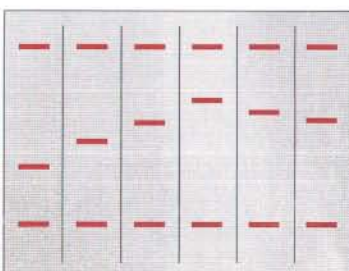
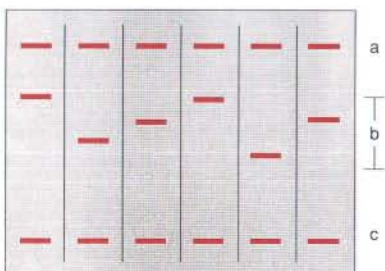
zijn geïsoleerd en overgebracht naar de tomaat. Nu blijkt dat een transgene tomaat, waarin het mantelwitgen van TMV geïntroduceerd is, een hoge mate van resistentie tegen TMV en zeer nauwe verwanten van dit virus bezit. Ook resistentiegenen tegen herbiciden zijn naar de tomaat overgebracht. In al deze gevallen leidde de introductie en de expressie van die genen tot resistentie. Het ziet er naar uit dat deze techniek al vlug commerciële toepassingen kan vinden, hoewel wettelijke belemmeringen dat tot nu toe voorkomen.

Moleculaire markers

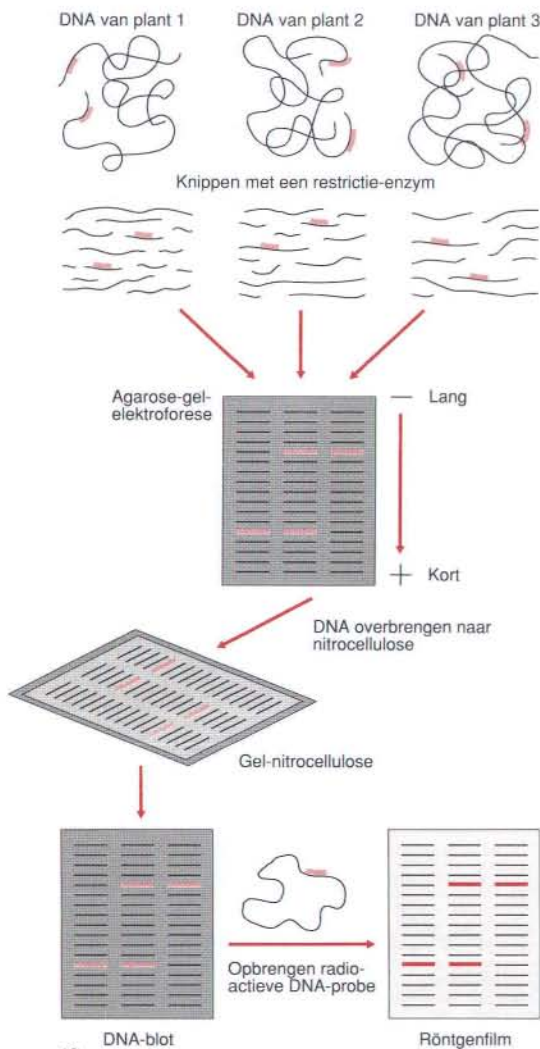
Elke plant bevat een unieke DNA-samenstelling. Sterk verwante planten hebben vrijwel dezelfde samenstelling, maar verre verwanten kunnen een hoge mate van variatie in hun erfelijk materiaal hebben. Zogenaamde restrictie-enzymen kunnen uit planten geïsoleerd DNA op zeer bepaalde plaatsen in kleine stukken



12. Met RFLP's is de plaats van een resistentiegen op het DNA op te sporen. De populatie waaruit de rechter plant is genomen is resistent, die van de linker niet. Het allel voor het RFLP in a is voor alle planten uit beide populaties gelijk, dat in b is voor alle planten verschillend. In c hebben echter alle planten uit de resistente populatie een ander allel voor een RFLP dan die uit de vatbare populatie. Er is dus een koppeling tussen dit RFLP en de resistentie.



13. RFLP-onderzoek bestaat grofweg uit het knippen van DNA met een restrictie-enzym en het met gel-elektroforese scheiden van de DNA-fragmenten op lengte. Door de DNA-fragmenten over te brengen op een drager (blot) en te hybridiseren met een stukje DNA (probe) wordt zichtbaar hoe lang het stukje DNA is waarvoor variatie bestaat.



13

'knippen'. Als het DNA van twee planten verschild, zullen sommige DNA-fragmenten van verschillende lengte zijn. Met moleculaire technieken kunnen deze fragmenten zichtbaar worden gemaakt als bandjes op verschillende plaatsen op een autoradiogram: het *restriction-fragment-length-polymorfisme* (RFLP, zie afb. 12 en 13). Deze RFLP's kunnen in de buurt van een belangrijk gen op het chromosoom gelegen zijn. Zo'n gen kan bijvoorbeeld een ziekteresistentiegen zijn.

In populaties van planten die verschillen voor een ziekteresistentie en voor RFLP's, kan worden bepaald welke RFLP's in de buurt liggen van het ziekteresistentiegen. Deze RFLP's zijn genetisch gekoppeld met het ziekteresistentiegen; ze liggen op hetzelfde chromosoom, vlakbij het resistentiegen. Daarom zijn RFLP's bruikbaar als moleculaire markers voor ziekteresistentie.

Met behulp van deze markers kan indirect op ziekteresistentie worden geselecteerd. Deze indirecte selectie vindt aan heel jonge planten plaats. Vooral voor eigenschappen die alléén in volwassen planten tot uiting komen of die sterk milieu-afhankelijk zijn, levert deze vorm van 'zaailing-diagnostiek' grote tijdswinst op. Er zijn eigenschappen zoals insecten-resistentie, die dermate complex zijn dat ze voor de veredeling vrijwel ongrijpbaar zijn. Met behulp van RFLP's zijn ook deze resistenties selecteerbaar.

Al deze ontwikkelingen zullen er toe bijdragen dat de tomaat een belangrijke voedselbron zal blijven, aangepast aan de kwalitatieve, kwantitatieve en milieu-eisen van de jaren negentig.

Literatuur

- Lindhout WH, Mark F vd. RFLP's: genetische markers versnellen de ontwikkeling van nieuwe planterassen. *Biotechnologie in Nederland* 1988; 5: 6, 321-324.
- Kasteren J v. Wiens plant? *Analyse & Katalyse, Natuur & Techniek* 1990; 58: 5, 431-435.
- Botterman J. Genmanipulatie van planten - De constructie van resistente rassen. *Natuur & Techniek* 1989; 57: 5, 378-387.

Bronvermelding illustraties

- Zaadunie BV, Enkhuizen: 352-353, 4, 8, 9 en 11
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteurs.

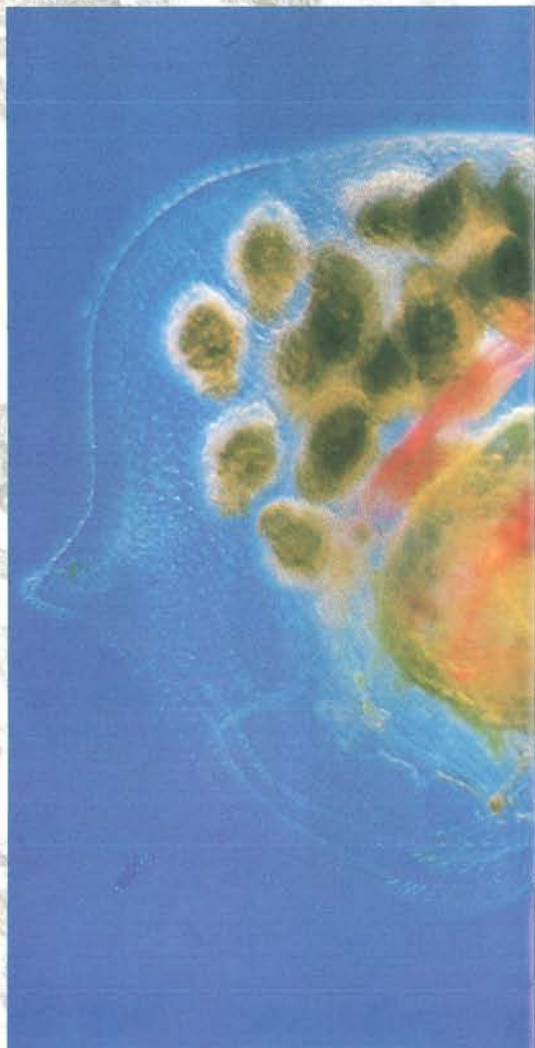
LEVEND WATER

Walter Drost-Hansen en
J. Lin Singleton

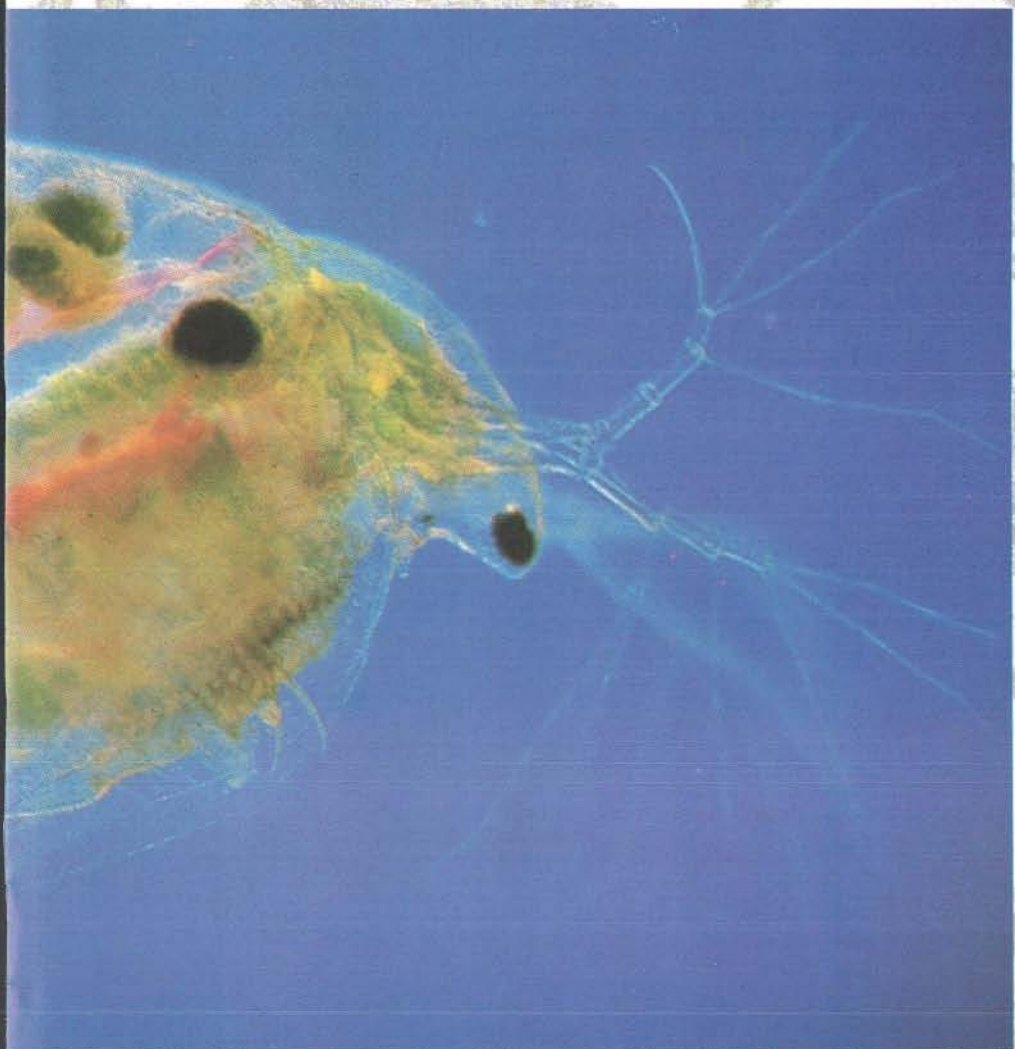
*Laboratorium voor wateronderzoek,
Universiteit Miami*

De meeste mensen accepteren water zoals het is en vragen zich nauwelijks af wat deze ongewone en fascinerende vloeistof mogelijk maakt. Nog minder mensen realiseren zich dat water onafscheidelijk verbonden is met het leven. Goed beschouwd zijn cellen met water het enige wat een schimmel, een biet, een vlieg, een neushoorn en een mens gemeen hebben – als we de biochemische details buiten beschouwing laten.

Deze watervlo, *Daphnia*, lijkt voor een groot deel uit normaal vloeibaar water te bestaan. De heldere vloeistof bevat echter een grote hoeveelheid membranen en eiwitten. In de cellen bevindt zich veel water in zeer dunne lagen. Het afwijkende gedrag van dit water, vergeleken met water in grotere volumes, draagt mogelijk bij aan de temperatuursafhankelijkheid van diverse levende organismen.



(VIJF VLOEIBARE FASEN)



Hoe stevig we ook mogen lijken, we zijn allemaal vloeibare wezens: bijna tweederde van het volume van het menselijk lichaam bestaat uit water. Dat komt neer op ongeveer veertig liter die in duizenden miljarden cellen zit opgesloten. Water is het universele medium voor alle biologische activiteit; het dient als oplos-, verdunnings- en transportmiddel en reageert met alle chemische stoffen die voor leven van essentieel belang zijn. In tranen reinigt water de ogen, in speeksel breken de enzymen in het water voedsel af, in lymfevocht spoelt water bacteriën en vreemde deeltjes naar buiten. Nadat water door de maag is gestroomd en de ingewanden heeft bereikt, komt het direct in de bloedsomloop terecht; negentig procent van de vloeistofcomponent van bloed – het bloedplasma – bestaat uit water. Het bloed wordt op zijn beurt voortdurend gefilterd door de nieren die de waterige vloeistof urine uitscheiden; water verlaat het lichaam ook tijdens het ademen en transpireren via de longen en de huid. Tenminste de helft van het volume van elk orgaan – van de lever tot de hersenen – bestaat uit water, en zelfs botten, die zo droog en onbuigzaam lijken, bestaan voor tien tot dertig procent uit vloeistof.

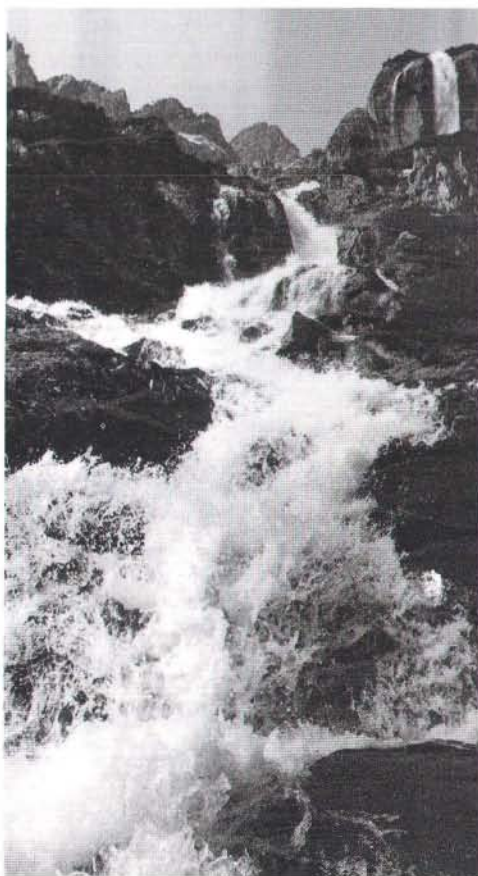
Wanneer je bedenkt hoeveel water er in levende wezens voorkomt, is het verbazingwekkend dat er niet meer bekend is over de biologische rol die water speelt. Tot een paar eeuwen geleden was het onderzoekers niet eens opgevallen dat het in planten en dieren zo overvloedig aanwezig is. In 1665 merkte de Engelse bioloog Robert Hooke op dat kurk onder een microscoop op een honingraat leek en hij noemde de holten in de kurk *cellulae*, cellen dus. Nu wil het toeval dat kurk een weefsel is waaruit het water is verdwenen. En hoewel Hooke later dezelfde naam gebruikte voor de hokjesachtige structuren die hij in levend weefsel zag, kon hij niet weten wat er binnenin deze kleine zakjes zou zitten.

Water in de cel

Pas in het midden van de negentiende eeuw, nadat men was begonnen met het ontwikkelen van krachtige microscopen en gevoelige laboratoriumtechnieken, ontdekten wetenschappers dat plantaardige en dierlijke cellen sterk verschillen van de holten in kurk. Wanneer de buitenkant van een eencellig diertje wordt ver-

broken, komt er een gelei-achtige substantie uit die de naam protoplasma kreeg. Later ontdekten men dat protoplasma een mengsel is van water, eiwitten en zouten. Maar deze toegenomen kennis had geen grotere belangstelling voor de vloeibare inhoud van cellen tot gevolg. Wetenschappers namen gewoon aan dat water water is, ongeacht waar het wordt aangetroffen – of het nu uit wolken naar beneden valt, zich door een vallei slingert of opgesloten zit binnen organismen.

Gedurende de afgelopen veertig jaar echter zijn enkele biologen en chemici begonnen deze overtuiging aan te vechten. De reden is dat experimenten aantonen dat water dat zit opgesloten in een levende cel zich anders gedraagt dan water in een rivier of in een kop thee. Het blijkt namelijk dat dankzij de nabijheid van membranen en andere celstructuren water in



de cel ongewone natuurkundige eigenschappen vertoont die misschien kunnen helpen een aantal hardnekkige biologische raadsels op te lossen. Deze raadsels zijn: hoe blijven cellen zo prachtig in chemisch evenwicht met hun omgeving; hoe kunnen ze overleven zelfs als ze zijn uitgedroogd en waarom gedijen alle vormen van leven slechts binnen een zeer nauw begrensd temperatuurgebied?

De drie fasen van water

Als men bedenkt dat zelfs gewoon water wetenschappers eeuwenlang voor raadsels heeft gesteld, dan hoeft het ons nauwelijks te verbazen dat de vloeistof in cellen nog maar slecht wordt begrepen. Lange tijd heeft men gedacht dat water één van de vier elementen – lucht, vuur, aarde en water – was, tot men in het be-

gin van de achttiende eeuw ontdekte dat een molecuul water bestaat uit twee waterstofatomen en één zuurstofatoom. En pas gedurende de laatste halve eeuw doet men gerichte pogingen om te begrijpen op welke manier de moleculen zich rangschikken in elk van de drie normale fasen van water.

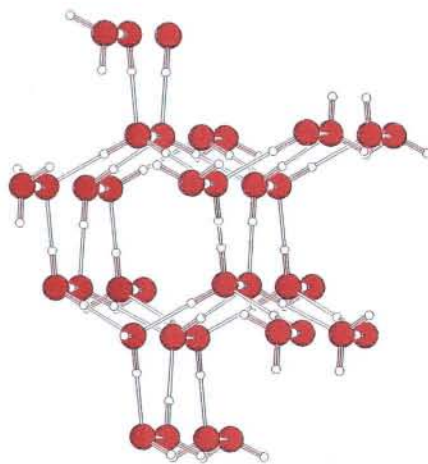
De structuren van vast water en gasvormig water zijn nu goed bekend en beschreven. Bij afkoeling tot beneden 0°C bevriest het water en rangschikken de watermoleculen zich laag voor laag in een kristalrooster. Het andere uiterste doet zich voor als watermoleculen worden verhit boven de 100°C: ze bewegen dan onafhankelijk van elkaar rond met snelheden die groter zijn dan vijftienhonderd kilometer per uur. In deze toestand kunnen de moleculen alleen worden beschreven met behulp van vergelijkingen die waarschijnlijkheden weerge-



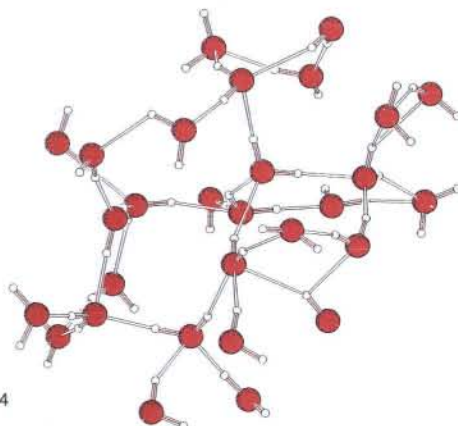
2

1 t/m 4. De drie fasen van H_2O zijn de gasvormige fase stoom, de vloeibare fase water, zoals bij de Sustenpas in het beekje dat van Zwitserse hellingen omlaag stroomt, en de vaste fase ijs, zichtbaar in dit gletsjermeer onderaan de Aletsch-gletsjer in de Zwitserse Alpen (1,2). De structuur van water wordt in sterke mate bepaald door waterstofbruggen. In vaste vorm heeft water

een zeer regelmatige open structuur. Ieder watermolecuul heeft in deze structuur vier naaste buren (3). In vloeibare vorm verkrijgt de stof een grotere dichtheid (daarom drijft ijs op water). De watermoleculen laten echter voldoende ruimte over om andere atomen en moleculen te kunnen oplossen. Het aantal naaste buren neemt tussen 0°C en 100°C toe van 4,0 tot 4,9 (4).



3



4

ven. De vergelijkingen beschrijven de kans dat een van de molekulen op een zeker moment zal worden aangetroffen op een bepaalde plek.

De structuur van vloeibaar water

Maar bij het onderzoek naar de rangschikking van de molekulen in vloeibaar water stuiten de chemici altijd op onoverkomelijke moeilijkheden. Een deel van het probleem is dat vloeistoffen in het algemeen moeilijk te begrijpen zijn. In tegenstelling tot de chemische bindingen van vaste stoffen, die de molekulen verenigen in een rooster dat in principe niet verandert, veranderen de bindingen van vloeistoffen voortdurend van positie en zijn daardoor moeilijk te onderzoeken. Maar zelfs vergeleken met andere vloeistoffen vertoont water eigenschappen die het uitzonderlijk moeilijk

maken de structuur ervan te bepalen. Een van die eigenschappen is dat water bij elkaar wordt gehouden door de flexibele waterstofbruggen: de waterstofatomen in elk molekuul worden sterk naar de zuurstofatomen in aangrenzende molekulen getrokken. Een watermolekuul wisselt tien- tot honderdmiljard keer per seconde van partner.

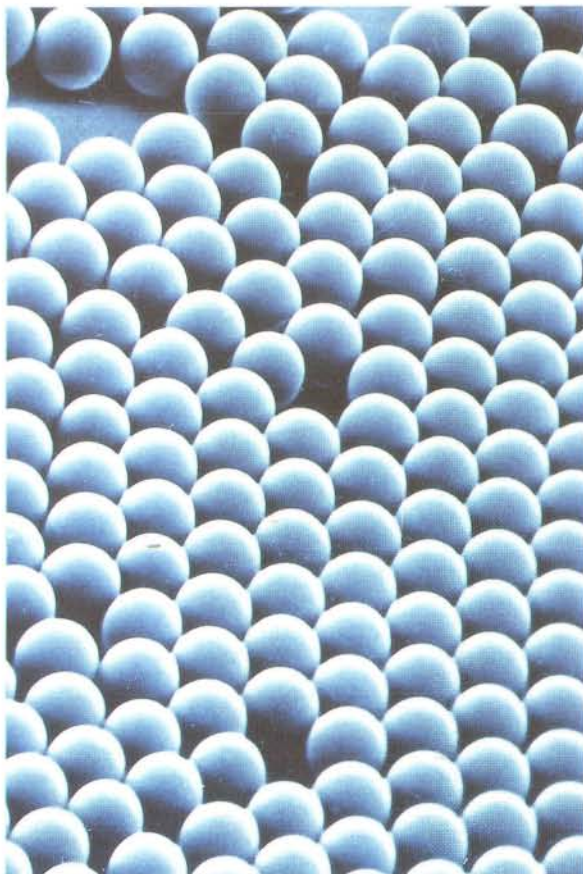
Een andere speciale eigenschap van vloeibaar water is zijn geringe dichtheid. In de meeste vloeistoffen wordt elk molekuul door acht tot elf andere molekulen omringd, maar watermolekulen schijnen niet meer dan vier of vijf naaste burens te hebben en zullen daardoor een vrij losse structuur vormen. De grote ruimte tussen de molekulen maakt het voor water gemakkelijk om zich te mengen met andere stoffen, wat voor een deel verklaart waarom deze vloeistof zo'n goed oplosmiddel is.



5

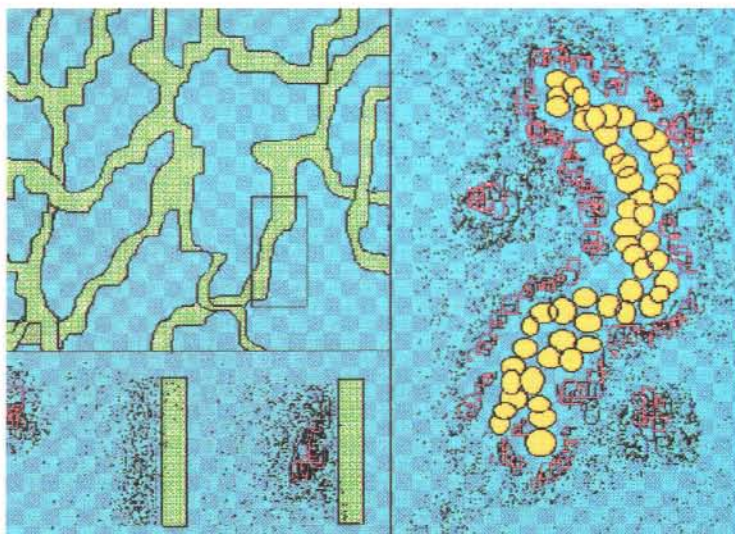
5. In de polythermostaat registreert men kenmerken van diverse levende en dode materialen bij verschillende temperaturen. Reageerbuizen met monsters plaatst men in het vloeistofbad met temperatuurgradiënt. Deze gradiënt ontstaat door koeling aan de ene zijde van het bad en verwarming aan de andere zijde. Het apparaat, ontwikkeld voor bacteriologische studies, wordt ook gebruikt voor de bestudering van de wonderlijke eigenschappen van vicinaal water.

6. Deze MonoBeads zijn hydrofiele harskorrels die worden gebruikt als ionenwisselaar bij chromatografische scheidingen van eiwitten en peptiden. De doorsnede van de kralen is ongeveer 10 μm . De poriën in de korrels hebben een diameter van 100 nm. De MonoBeads vormen daarmee een groot oppervlak aan vicinaal water, wat mogelijk bijdraagt aan het scheidingsvermogen van dit materiaal.



6

7. Diverse eiwitten, waaronder actine en tubuline, vormen een cytoskelet in de levende cel. De close-up (rechts) toont het 'gebonden' en het vicinale water langs een actine-filament. De eiwitten (rood) langs de actine-keten vergroten het vicinale oppervlak. Het schema linksonder laat zien hoe de reikwijdte van de laag vicinaal water toeneemt bij nadering van een eiwit tot een oppervlak.



7

Het bepalen van de structuur van een waterige oplossing waarin chemische stoffen zijn opgelost, is nog moeilijker dan het beschrijven van de structuur van zuiver water. Veronderstel bijvoorbeeld dat keukenzout (NaCl, of natriumchloride) wordt opgelost in een glas water. Elk positief geladen natriumion trekt de negatief geladen zuurstofatomen van verscheidene naburige watermolekulen aan, terwijl elk negatief geladen chloorion de positief geladen waterstofatomen aantrekt. Als het zout volledig is opgelost zal elk natriumion waarschijnlijk door vier of meer watermolekulen zijn omringd, terwijl elk chloorion een kleiner aantal van hen aantrekt. Dus maakt alleen al de toevoeging van gewoon keukenzout de structuur van water aanzienlijk ingewikkelder. In een levende cel die grote hoeveelheden opgeloste stoffen bevat – niet alleen natrium en chloor maar ook kalium, magnesium en fosfaationen, evenals een hoeveelheid vetten, eiwitten en koolhydraten – is de toestand nog veel ingewikkelder.

Vicinaal water

Het water in de cel wordt ook nog veranderd door een speciaal fysisch verschijnsel waarvan men het belang nu pas begint in te zien. Dit verschijnsel, dat men *solvatatie* noemt, ontstaat als water grenst aan een celoppervlak.

Molekulen die zich in zo'n situatie bevinden, worden door atomen in het oppervlak zelf aangetrokken en worden daarmee beperkt in hun bewegingen. Dit heeft tot gevolg dat een groot deel van hen vier (in plaats van drie of minder) waterstofbruggen met zijn burens heeft. Water dat op deze manier is veranderd, wordt *vicinaal water* genoemd (naar het Latijnse woord *vicinalis*, dat naburig of aangrenzend betekent).

Door zijn speciale structuur heeft vicinaal water speciale eigenschappen: het heeft een circa drie procent lagere dichtheid dan vrij water; het heeft een grotere soortelijke warmte, dat wil zeggen, er is ongeveer vijfentwintig procent meer energie nodig om een zelfde hoeveelheid een zelfde aantal graden in temperatuur te doen stijgen; en de viscositeit ervan is groter, waardoor het voor opgeloste stoffen moeilijker is om er in rond te bewegen.

Eén enkele cel bevat honderden oppervlakken en die leveren allemaal solvatatiekrachten. Naar schatting bestaat zelfs de helft van het celvolume uit allerlei componenten die zijn opgesloten in membranen. Behalve de celkern zijn er het onregelmatig gevormde endoplasmatische reticulum met daarin de ribosomen die voor de eiwitsynthese zorgen, de Golgiapparaten die de in de cel gesynthetiseerde molekulen klaarmaken voor transport binnen en buiten de cel, de staafachtige mitochon-

driën die centra zijn van energieproductie en het cytoskelet, een netwerk van vertakte eiwitten dat de cel zijn vorm geeft. Daarbij komen nog ontelbare biomolekulen, zoals vetzuren, triglyceriden, koolwaterstoffen en eiwitten, die extra intracellulaire oppervlakken vormen en zo de hoeveelheid vicinaal water vergroten. Het oppervlak van alle membranen in de cellen van een menselijk lichaam is ruwweg gelijk aan het oppervlak van het Amsterdamse Bos (ongeveer 3,4 km²).

Het bleek moeilijk te zijn om het vicinale water in cellen te analyseren; is eenmaal een meetbare hoeveelheid van de vloeistof uit de cel verwijderd, dan grenst het niet langer aan cellulaire oppervlakken en vertoont het ook zijn ongewone eigenschappen niet. Gelukkig is het mogelijk om in het laboratorium de intracellulaire omstandigheden na te bootsen die aanleiding geven tot vicinaal gedrag, door water tussen twee oppervlakken te persen.

De fasen van vloeibaar water

Uit dergelijke laboratoriumexperimenten is gebleken dat veel eigenschappen van vicinaal water niet geleidelijk veranderen als functie van de temperatuur, zoals wel het geval is bij vrij, of niet-vicinaal water. Met elke graad temperatuurverhoging wordt vrij water iets minder visceus en iets minder dicht, krijgt het water een iets groter elektrisch geleidingsvermogen en draagt het bij aan het verhogen van de snelheid van chemische reacties. De oppervlaktespanning van vrij water neemt langzaam af met elke toename van de temperatuur.

In vicinaal water daarentegen veranderen deze eigenschappen tamelijk abrupt, en soms drastisch, bij vier verschillende temperaturen: bij 15, 30, 45 en 60°C. Zouden we deze eigenschappen in een grafiek zetten, dan kunnen de eigenschappen van vrij water als functie van de temperatuur worden weergegeven met een vloeiende kromme, terwijl de grafiek voor vicinaal water een curve is met scherpe pieken. Dit doet vermoeden dat vicinaal water in vijf verschillende fasen bestaat die overeenkomen met de vijf specifieke temperatuurgebieden.

Hoewel wetenschappers nog een verklaring moeten vinden voor deze fasen, is al wel duidelijk dat het er in het algemeen niet toe doet wat de chemische samenstelling van het aangren-

8. In een alveoliercel is het inwendige celoppervlak sterk vergroot door de aanwezigheid van het en-

doplasmatisch reticulum. Vicinaal water bevindt zich tussen de vele membranen in de cel.

9. Na toevoeging van equimolaire oplossingen van kalium- en natriumionen aan poreus silicagel blijkt

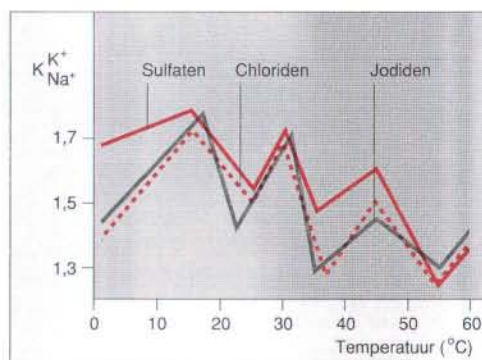
de verdeling van deze ionen in de poriën, K_{Na}^{+} , te variëren met de temperatuur.

10. Een Arrheniusgrafiek van de viscositeit (ν_0) en de temperatuur (K) van vicinaal water. Het water bevond zich tussen twee kwartsplaten. De viscositeit

blijkt te variëren met de afstand tussen de platen en de temperatuur. Bij bepaalde temperaturen neemt de viscositeit van vicinaal water onverwacht toe.

11. Ook in rattenierschors varieert de verdeling van

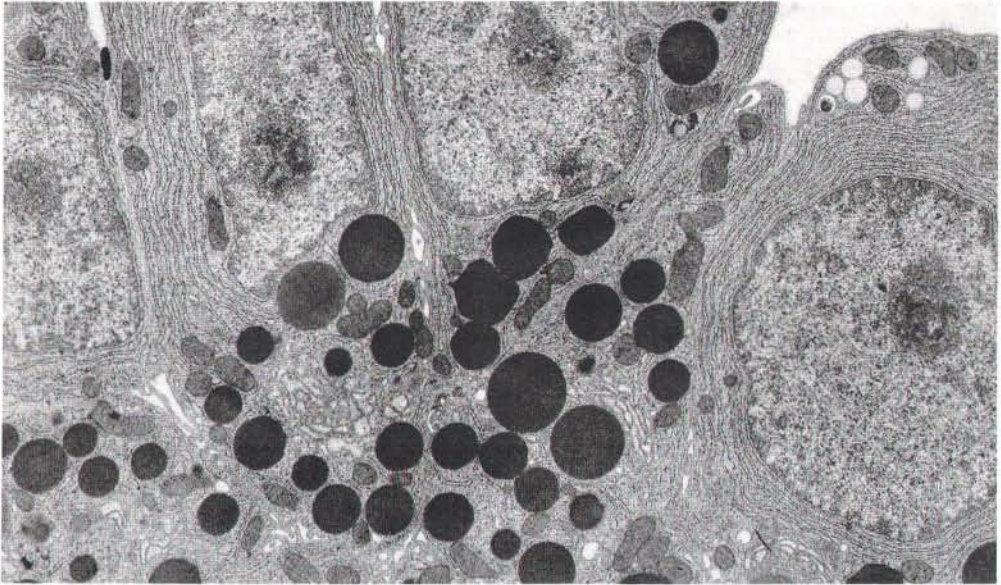
natrium- en kaliumionen met de temperatuur.



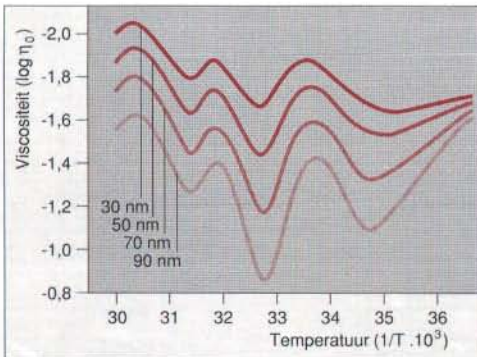
9

zende oppervlak is; uit wat voor materiaal dit oppervlak ook bestaat — siliciumdioxide, houtskool of celmembranen — het wekt in het water dat er aan grenst dezelfde eigenschappen op. Deze eigenschap is zo onwaarschijnlijk dat zij het *paradoxaal effect* is genoemd; men zou namelijk verwachten dat de verschillende elektrische ladingen van de atomen in verschillende soorten oppervlakken een verschillende invloed zouden hebben op de aangrenzende watermolekulen.

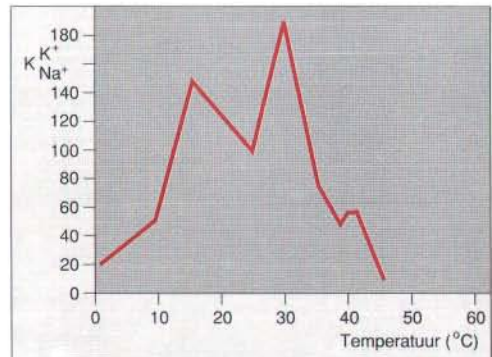
Ook is duidelijk dat solvatatiekrachten watermolekulen beïnvloeden die niet direct gren-



8



10



11

zen aan het aangrenzende oppervlak. Als het oppervlak zelf bijdraagt tot een toegenomen structurering van de naburige watermolekulen, zullen deze molekulen op hun beurt de volgende laag beïnvloeden enzovoort. Dit effect strekt zich tot op enige afstand uit. De bioloog James S. Clegg heeft geopperd dat zelfs als solvatatiekrachten in cellen zich maar uitstrekken tot ongeveer zestien molekuullagen vanaf een oppervlak, tenminste dertig procent van het cytoplasma vicinaal genoemd kan worden. En dit is een voorzichtige schatting; het is heel goed mogelijk dat meer dan negen-

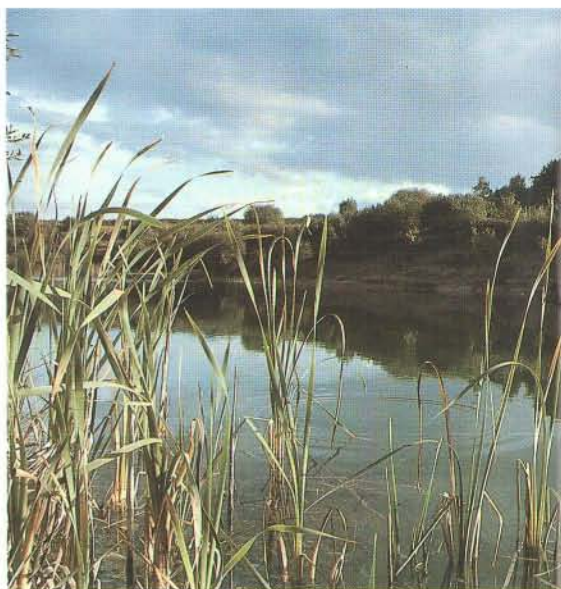
tig procent van het cytoplasma vicinaal is. Maar wat het percentage ook precies is, het lijkt geen twijfel dat er in cellen genoeg vicinaal water aanwezig is om de chemische processen in de cel op drastische wijze te beïnvloeden.

Natrium en kalium, een universeel evenwicht

Al is ons begrip van vicinaal water nog onvolledig, toch bestaat het vermoeden dat enkele al lang bestaande raadsels in de biologie er mee op te lossen zijn. Een ervan is de vraag hoe de cel zijn ongewone concentratie aan chemische

stoffen kan handhaven — in het bijzonder van kalium en natrium. Terwijl in de extracellulaire vloeistof (de oplossing waarin de cel baadt) deze twee elementen een verhouding hebben van één kaliumion op twintig natriumionen, is de verhouding in het protoplasma omgekeerd: daar vinden we twintig kaliumionen op één natriumion.

In een poging om deze wanverhouding op te helderen heeft men onderzoek gedaan naar het vicinale water dat het poreuze silicagel vult (silicagel wordt vanwege het grote wateropnemend vermogen als droogmiddel gebruikt). De poriën van het silicagel hebben een gemiddelde diameter van 14 nm (atomen hebben een diameter van ongeveer 0,1 à 0,2 nm). Zonder vicinaal water is het te verwachten dat de concentraties van de natrium- en kaliumionen in gel en oplossing identiek zijn. Het blijkt daarentegen dat de concentraties zich verhouden als 2:3, met de meeste kaliumionen bij het opper-

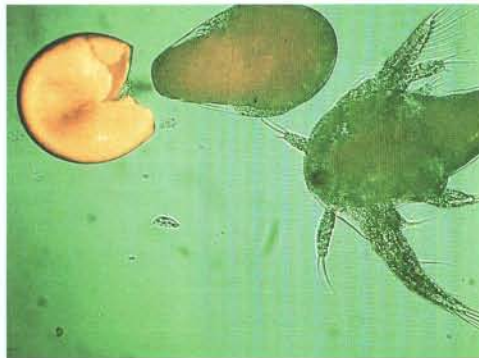


12

13 en 14. Het pekelkreeftje (*Artemia salina*) stamt af van zoetwaterdieren. Bij droogte verliezen de tot 15 mm lange kreeftjes een groot deel van hun lichaamsvocht en kapselen zich in. Na opname van vocht nemen zij later hun oorspronkelijke vorm weer aan (13). De eieren van pekelkreeftjes gebruikt men als visvoer in het aquarium. In een oplossing met 3 tot 8% zout is de ontwikkeling van dit diertje te volgen. Een larve verlaat hier het ei (14).



13



14

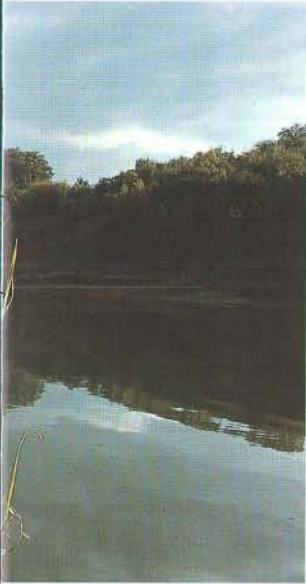
vlak. Bovendien blijkt, als men het vicinale water onderzoekt bij verschillende temperaturen, dat deze verhouding niet alleen varieert met de temperatuur, maar dat de verhouding van de ionconcentraties bij 15, 30, 45 en 60°C sprongsgewijs verandert. Bij elk van deze vier drempeltemperaturen absorbeert het gel twintig tot dertig procent meer kalium- dan natriumionen. Blijkbaar lossen kaliumionen beter op in vicinaal water dan natriumionen.

Het systeem in silicagel bootst daarmee het universele evenwicht van de elementen in cellen na. Aangezien, om onduidelijke redenen,

het celmetabolisme van dit evenwicht afhangt doen deze ontdekkingen vermoeden dat vicinaal water van essentieel belang is voor het gezond chemisch functioneren van de cel.

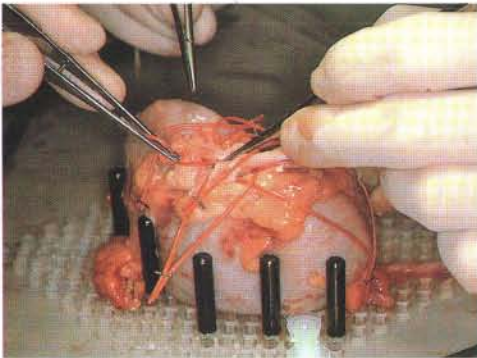
Verdroogde cellen

Dat sommige cellen in leven kunnen blijven wanneer ze beroofd zijn van een groot deel van hun water, schijnen zij ook te danken aan de unieke eigenschappen van vicinaal water. Het pekelkreeftje *Artemia* kan gedurende zijn ruststadium, wanneer hij nog maar twee procent



12. De kleine lisdodde, *Typha angustifolia*, komt voor bij een gemiddelde temperatuur van hooguit 14°C.

15. Voor de transplantatie ligt een gekoelde nier op een koelplank. Bij lage temperatuur is de stofwisseling van de nier nagenoeg afwezig.



15

van zijn normale waterinhoud over heeft, maandenlang ingekapseld op de bodem van opgedroogde zoutpoelen liggen. En toch herkrijgt het kreeftje een gezond metabolisme zodra er weer voldoende water wordt toegediend.

Clegg heeft ontdekt dat fibroblastachtige cellen uit laboratoriummuizen nog een normaal metabolisme vertonen als vijftig procent van hun water is verwijderd. En cryobiologen, die bevroren weefsel onderzoeken, hebben veel dierlijke cellen ontdekt die tijdelijk meer dan de helft van hun waterige inhoud kunnen verliezen zonder dat er schade van betekenis op-

treedt. Als het water dat in de verdroogde cellen achterblijft vicinaal is, zijn dergelijke verschijnselen niet zo merkwaardig als ze lijken; het juiste kalium-natriumevenwicht zal gehandhaafd blijven, waardoor de cellen in staat zijn de chemische reacties uit te voeren die noodzakelijk zijn voor leven. Al het vrije water dat de cel in volledig gehydrateerde toestand bevat, lijkt dus overbodig – althans een tijdlang.

De lichaamstemperatuur

Nog een belangrijk raadsel in de natuur, dat vicinaal water misschien kan helpen oplossen, heeft te maken met de betrekkelijk hoge temperaturen waarop de interne thermostaten van mensen en de meeste andere zoogdieren zijn ingesteld. De gemiddelde lichaamstemperatuur van een mens is 37,0°C en die van bijna alle andere zoogdieren ligt niet meer dan een paar graden van deze waarde verwijderd. Dit is aanzienlijk hoger dan de gemiddelde omgevingstemperatuur die tegenwoordig op aarde heerst – warmer zelfs dan het gedurende de laatste tweehonderdmiljoen jaar op aarde is geweest en in deze periode zijn juist de zoogdieren geëvolueerd. Om zo'n hoge temperatuur te handhaven moeten grote hoeveelheden voedsel worden gegeten. Als onze gemiddelde lichaamstemperatuur maar vijf graden lager zou zijn dan de gebruikelijke, zouden we in theorie een veel minder inspannend en schijnbaar efficiënter – wat energiehuishouding betreft – leven kunnen leiden.

Maar misschien is dat niet juist. Misschien maakt vicinaal water, door zijn neiging om bij de vier overgangstemperaturen abrupt van eigenschappen te veranderen, het noodzakelijk dat de thermostaat op deze hoge temperatuur is afgesteld. Als cellen voortdurend bloot zouden staan aan grote veranderingen in viscositeit, warmtecapaciteit, elektrisch geleidingsvermogen of – in het bijzonder – kalium-natriumconcentratie, dan zou het zeker moeilijk zijn om de stabiliteit van het metabolisme te handhaven. Omdat in vicinaal water dergelijke veranderingen plaatsvinden bij 15, 30, 45 of 60°C, zijn cellen misschien zo geëvolueerd dat ze een voorkeur hebben voor temperaturen die midden tussen de overgangstemperaturen in liggen en waar de eigenschappen van vicinaal water maar weinig veranderen.

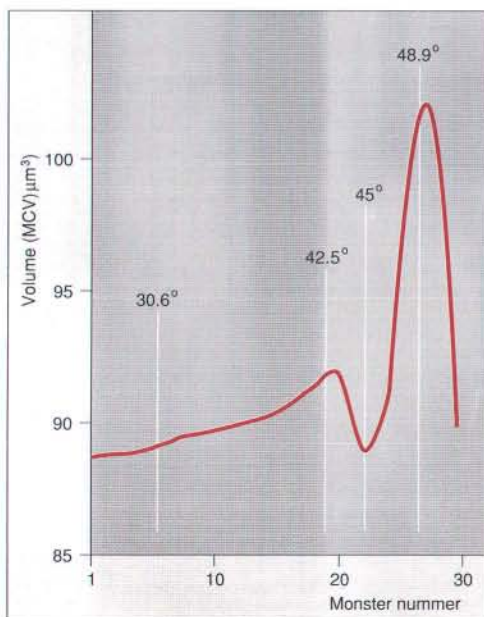
Strakke grenzen

Veel organismen, van algen tot ongewervelden, kunnen alleen in leven blijven tussen opmerkelijk strakke temperatuurgrenzen: ze kunnen niet tegen temperaturen beneden de 15°C noch tegen temperaturen boven de 30°C, maar bij temperaturen daar tussenin functioneren ze prima. Dit geldt bijvoorbeeld voor de *Valonia*-algen aan de kust van Florida en voor de larven van de steenkrab. De hoeveelheid afwijkingen in de chromosomen van *Escherichia coli*-bacteriën bereikt een maximum bij 60°C. En bij temperaturen die veilig tussen de twee grenswaarden in liggen is de groeisnelheid van veel bacteriën maximaal, en dat geldt ook voor schimmels.

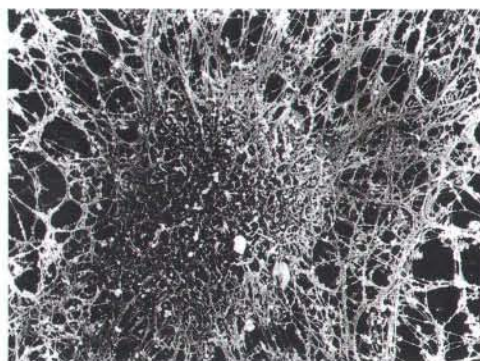
De lichaamstemperatuur van 37°C voor zoogdieren is misschien gekozen omdat deze tussen 30 en 45°C in ligt. In theorie zou de menselijke thermostaat even goed kunnen zijn afgesteld op 52,5°C – midden tussen 45 en 60°C in. Maar het behouden van die temperatuur, die ongeveer vijfentwintig graden boven de gemiddelde omgevingstemperatuur op aarde ligt, zou onmogelijk zijn geweest. Onze soort zou voortdurend hebben blootgestaan aan ernstig warmteverlies en het zou nodig zijn

geweest om geweldige hoeveelheden voedsel te vinden om de biologische kachels te stoken. Als daarentegen het menselijk lichaam bij 22°C zou functioneren, tussen de twee lagere overgangstemperaturen van vicinaal water in, zou de mens in vroeger tijden oververhit zijn geraakt op de Afrikaanse steppen – en trouwens overal waar de temperatuur de 30°C bereikte.

De gemiddelde temperatuur van 37°C schijnt dus precies goed te zijn: niet zo hoog dat er enorme hoeveelheden energie nodig zijn om warm te blijven, maar niet zo laag dat de mogelijkheid bestaat dat het lichaam door de hitte raakt uitgeput. Mensen gaan dood wanneer ze aan temperaturen van 44 tot 46°C worden blootgesteld, evenals alle andere zoogdieren. Worden ze afgekoeld tot temperaturen die lager liggen dan de laagste waarden in dit temperatuurgebied, dan raken ze bewusteloos en hebben de weefsels opmerkelijk minder zuurstof nodig (daarom worden operaties aan hart en bloedvaten en hersenoperaties vaak bij dergelijke temperaturen uitgevoerd). Misschien is het water in de cel door zijn speciale moleculaire structuur een van de biologische factoren geweest die zoogdieren tot onwaarschijnlijk warmbloedige wezens hebben gemaakt.



16



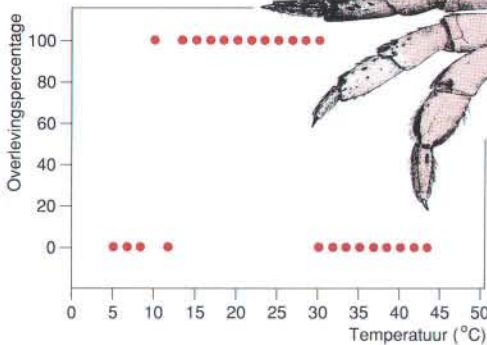
17

16. In de polythermostaat varieert het volume van rode bloedcellen (MCV) met de temperatuur. De temperaturen bij de maxima (42,5°C en 48,9°C) en het minimum (45°C) komen overeen met drempeltemperaturen die men vindt in vicinaal water.

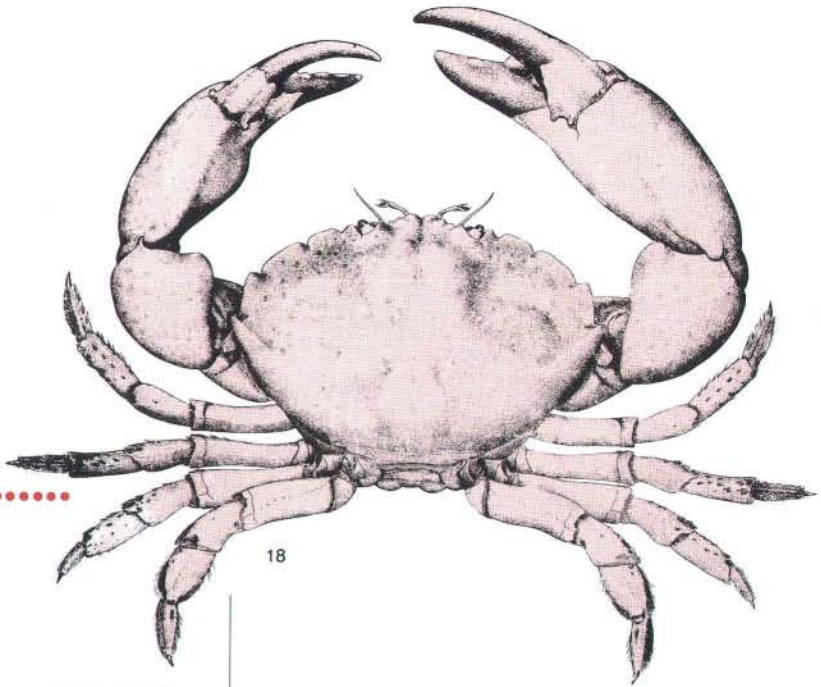
17. Na verwijdering van membranen met zeep, zijn in een SEM-foto van een cel het cytoskelet en de kern te zien. Het cytoskelet bevindt zich in het cytoplasma, langs membranen en vermoedelijk ook in de kern en vormt zo een groot inwendig celoppervlak.

18 en 19. De steenkrab, *Menippe mercenaria*, treft men aan voor de oostkust van Noord-Amerika (18). De larven leven bij temperaturen van 14 tot 30°C. Hogere of lagere temperaturen verdragen ze niet (19).

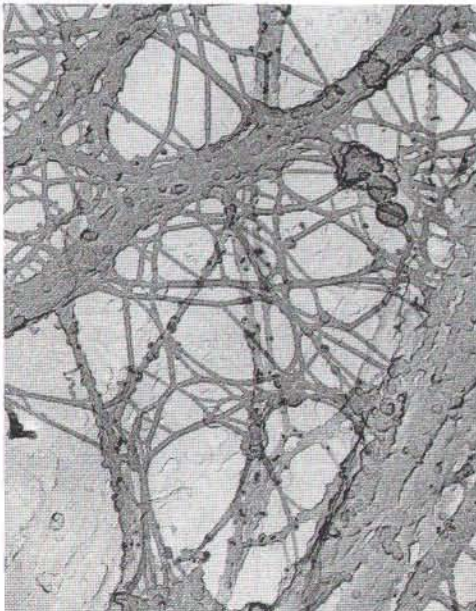
20. Het cytoskelet toont men aan met goudbollen (zwarte korrels) die zijn gekoppeld aan antilichamen die reageren met delen van het cytoskelet.



19



18

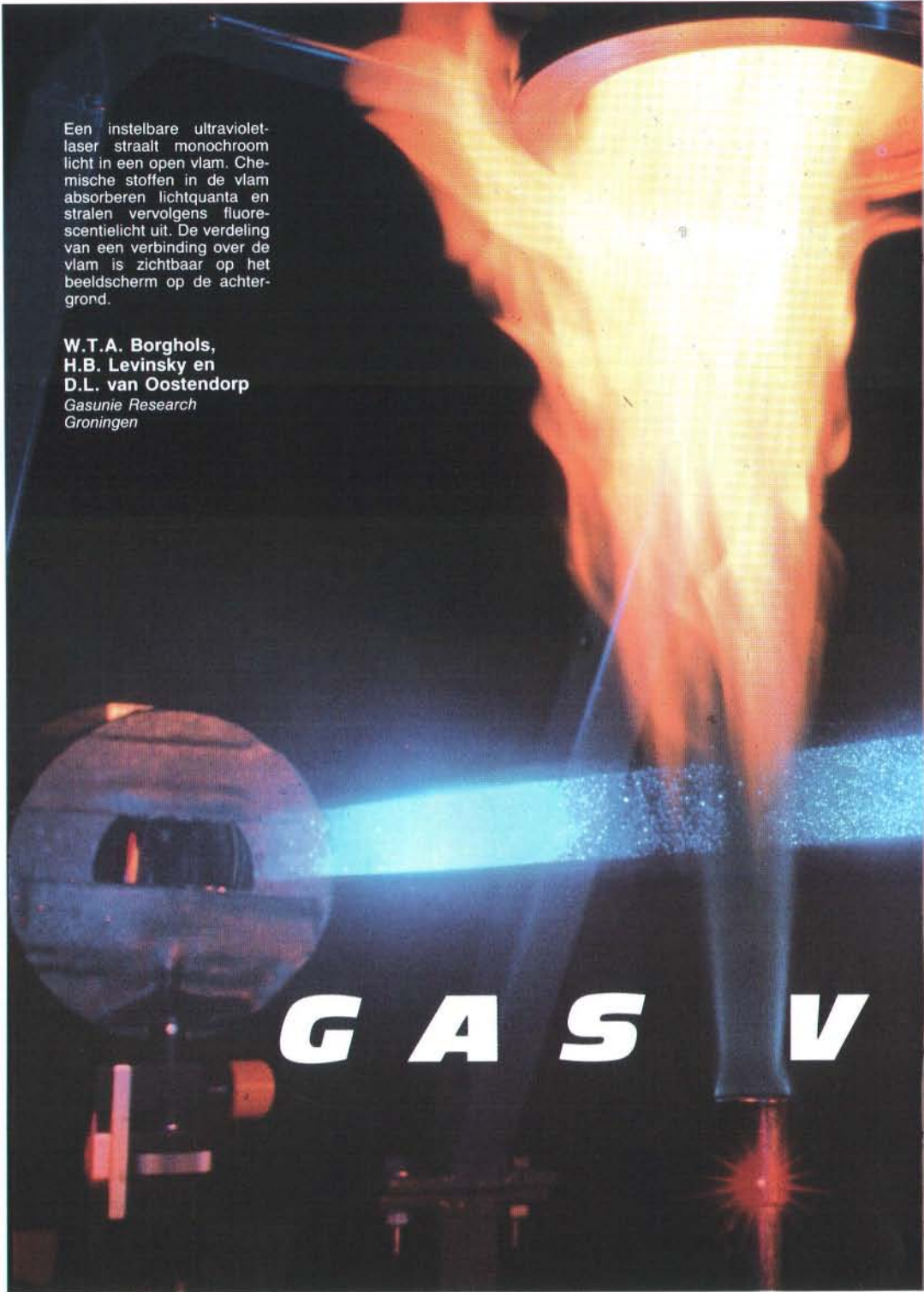


20

Dit artikel verscheen vorig jaar in het september/oktobernummer van The Sciences, een uitgave van de New York Academy of Sciences. Het werd voor ons vertaald door mw R. Rutten-Vonk uit Deil.

Bronvermelding illustraties

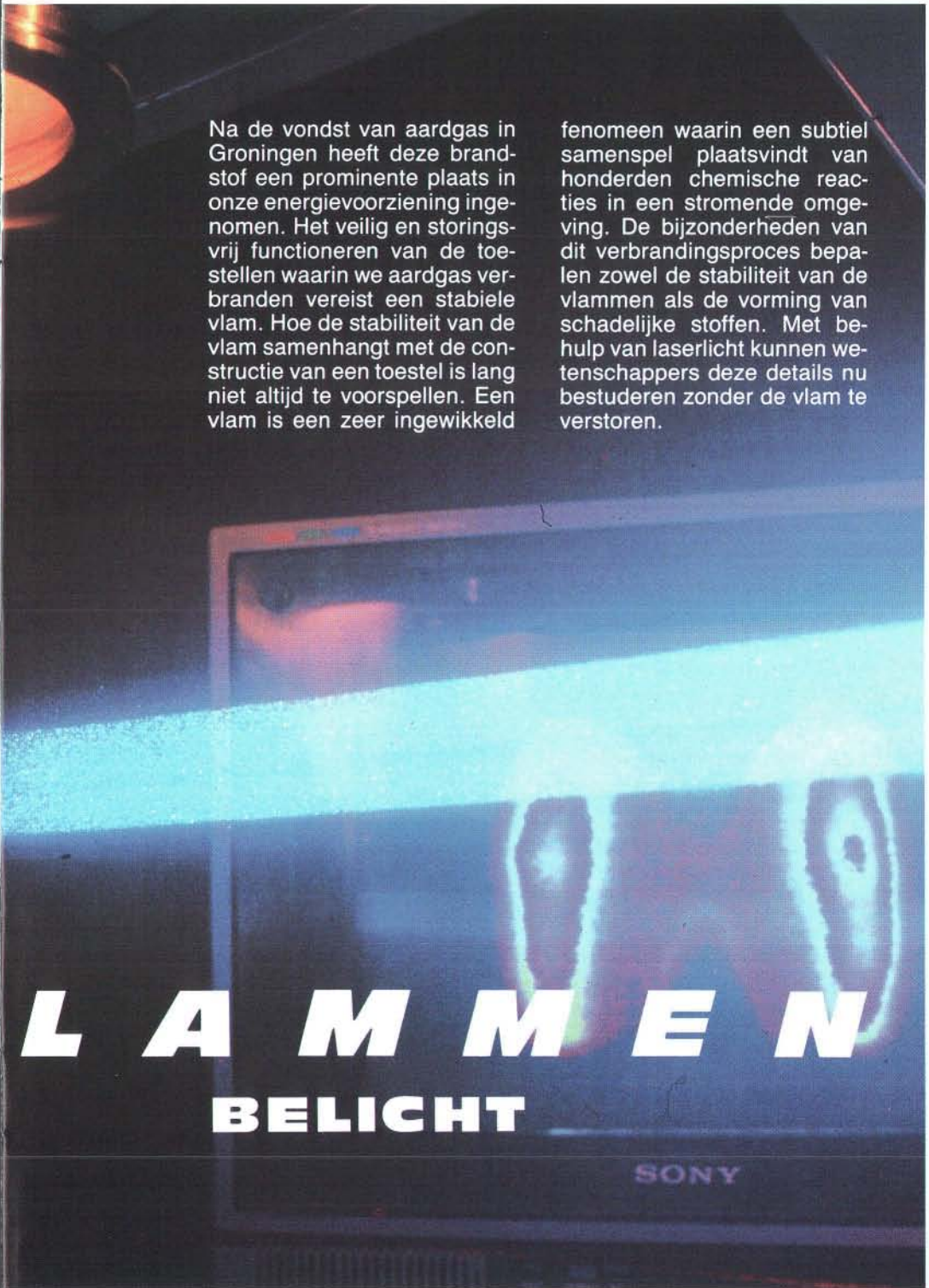
De afbeelding op de omslag van dit nummer komt uit het boek 'Scientific Europe' dat dit najaar zal verschijnen. ©Lennart Nilsson, Karolinska Institut, Stockholm. Projectgroep EMSA, Vakgroep moleculaire celbiologie, RUU: 364-365 (achtergrond), 17, 20. Photo Researchers, New York. Uit: De maat van het leven Maastricht: Wetenschappelijke Bibliotheek, Natuur & Techniek, 1987: 364-365 (voorgond). Zwitsers Verkeersbureau, Amsterdam: 1, 2. B.P. van Eijck, Lab Kristal- en Structuurchemie, RUU: 3, 4. Pharmacia, Woerden: 6. Dr W. Pfeiffer, Carl Zeiss, Oberkochen: 8. Oxford Scientific Films: 12. Laboratorium voor Aquacultuur & Artemia Reference Center, Rijksuniversiteit Gent: 13, 14. AV-Dienst, Academisch Ziekenhuis Maastricht: 15. R. Rathbun (1893), met dank aan Prof. L.B. Holthuis, Rijksmuseum van natuurlijke historie, Leiden: 18. De overige illustraties zijn afkomstig van de auteurs.



Een instelbare ultraviolet-laser straalt monochroom licht in een open vlam. Chemische stoffen in de vlam absorberen lichtquanta en stralen vervolgens fluorescentielicht uit. De verdeling van een verbinding over de vlam is zichtbaar op het beeldscherm op de achtergrond.

**W.T.A. Borghols,
H.B. Levinsky en
D.L. van Oostendorp**
*Gasunie Research
Groningen*

G A S U



Na de vondst van aardgas in Groningen heeft deze brandstof een prominente plaats in onze energievoorziening ingenomen. Het veilig en storingsvrij functioneren van de toestellen waarin we aardgas verbranden vereist een stabiele vlam. Hoe de stabiliteit van de vlam samenhangt met de constructie van een toestel is lang niet altijd te voorspellen. Een vlam is een zeer ingewikkeld

fenomeen waarin een subtiel samenspel plaatsvindt van honderden chemische reacties in een stromende omgeving. De bijzonderheden van dit verbrandingsproces bepalen zowel de stabiliteit van de vlammen als de vorming van schadelijke stoffen. Met behulp van laserlicht kunnen wetenschappers deze details nu bestuderen zonder de vlam te verstoren.

L A M M E N

BELICHT

SONY

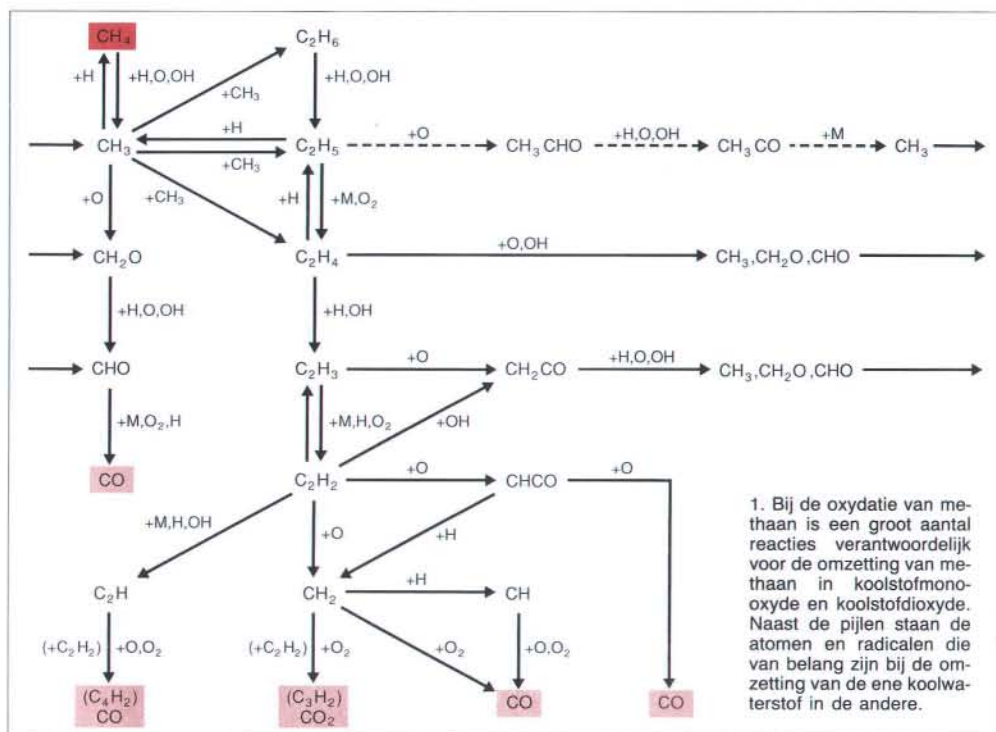
Aardgas heeft een belangrijk aandeel in de energievoorziening van West-Europa: In Nederland voorziet aardgas in meer dan vijftig procent van de energiebehoefte terwijl aardgas in België voor meer dan vijftien procent aan de energiebehoefte bijdraagt. Het Nederlandse aardgas wordt momenteel gewonnen in een groot aantal binnenlandse putten (circa 140), terwijl vier procent wordt geïmporteerd uit Noorwegen. Het Belgische aardgas komt voor ongeveer vijfendertig procent uit Nederland, het overige deel komt uit Algerije en Noorwegen. De diverse aardgassen kunnen een uiteenlopende samenstelling hebben. Daarom mengt de Gasunie deze gassen voor de huishoudelijke markt in Nederland tot een gas waarvan de verbrandingseigenschappen vergelijkbaar zijn met die van het gas uit Groningen.

Om de veiligheid bij gebruik van dit gas ook in de toekomst te garanderen onderzoekt men hoe aardgas van uiteenlopende samenstellingen in diverse apparaten verbrandt. Een deel van dit verbrandingsonderzoek richt zich erop de toch al kleine hoeveelheid schadelijke bij-

produkten van deze verbranding verder terug te dringen. Afbeelding 3 laat zien dat de verbranding van aardgas verantwoordelijk is voor twintig procent van de produktie van stikstofoxyden (NO_x), maar nauwelijks bijdraagt aan de vorming van zwaveldioxyde. Om veiligheidsredenen voegt men aan het reukloze aardgas een zwavelhoudende reukstof toe; als deze reukstof verbrandt ontstaat zwaveldioxyde. Naast de stoffen die staan vermeld in afbeelding 3 komt er bij onvolledige verbranding het giftige koolstofmono-oxyde (CO) vrij. Dit gaat ten koste van het rendement.

De verbranding van methaan

Aardgas bestaat voor het overgrote deel uit methaan (CH_4). De netto reactie voor de verbranding van methaan met zuurstof uit de lucht suggereert een simpel proces: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$. In feite zijn er echter meer dan driehonderd reacties bij betrokken als we de NO_x -vorming ook meetellen. Deze reacties vinden plaats tussen meer dan veertig

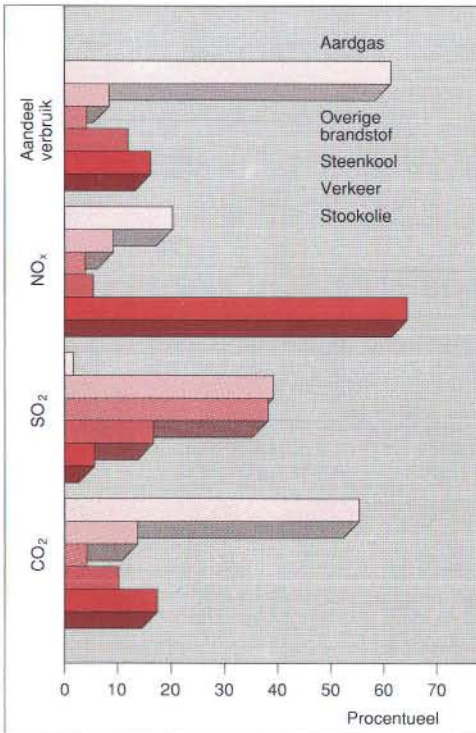




2

2. Het branden van een grote gasvlam is een vertrouwd beeld in de haven van Rotterdam.

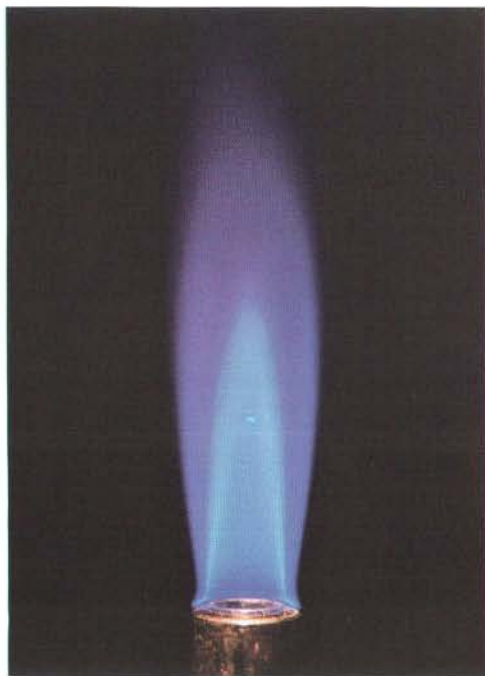
3. Procentueel aandeel in verontreiniging per fossiele brandstof vergeleken met het aandeel in energieverbruik in Nederland in 1988, exclusief aardgas als grondstof.



3

verschillende molekulen en radicalen. Radicalen zijn atomen of molekulen met een elektron dat geen deel uitmaakt van een elektronenpaar. Dit ongepaarde elektron zorgt voor de grote reactiviteit van radicalen. In een formule geeft men het ongepaarde elektron van het radicaal vaak weer met een verhoogde punt; $\text{OH}\cdot$ is het ongeladen hydroxylradicaal. De meeste van deze stoffen ontstaan en reageren weer tijdens het verbrandingsproces en bezitten een zeer korte levensduur.

De ingewikkeldheid van het verbrandingsproces van aardgas blijkt wel uit afbeelding 1, die een schematisch overzicht van het oxydatiemechanisme van CH_4 tot CO en koolstofdioxide (CO_2) biedt. Naast de pijlen staan de radicalen die er voor zorgen dat het ene molecuul of radicaal met één of meer koolstofatomen wordt omgezet in het andere: om uit CH_4 uiteindelijk CO of CO_2 te vormen zijn verscheidene tussenstappen nodig en vele wegen mogelijk. De aanwezige zuurstof-, waterstof- en hydroxylradicalen vormen uiteindelijk het andere eindproduct: water. Als extra complicatie geldt dat alle reacties verder plaatsvinden in een stromend mengsel van gas en lucht.



4

4. De scherpe lijn in een bunsenvlam wordt gevormd door het vlamfront, waarin het grootste deel van de verbranding plaatsvindt en die het koude onverbrande gas in de binnenkegel scheidt van de hete verbrandingsproducten in de buitenkegel.

5. Een koelinstallatie in aanbouw in Wildervank. Op deze produktielokatie wordt gas uit het Annerveen-veld gekoeld en gezuiverd voorafgaand aan de levering van het gas.



5

Een van de factoren die het verloop van het verbrandingsproces in hoge mate bepaalt, is de verhouding van de concentraties brandstof en zuurstof in het mengsel van gas en lucht dat uit de brander stroomt. Deze verhouding, de gas-luchtverhouding (aangeduid met het symbool φ), is als volgt gedefinieerd:

$$\varphi = \frac{2[\text{CH}_4]}{[\text{O}_2]}$$

Volgens de netto reactie bevat een mengsel met $\varphi = 1$ precies genoeg zuurstof om al het aanwezige methaan te verbranden; dit heet een *stoichiometrisch* mengsel. Aangezien lucht ongeveer 21% zuurstof bevat is er voor de stoichiometrische verbranding van $1 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ ongeveer $9,5 \text{ m}^3$ lucht nodig. Een mengsel met $\varphi > 1$ noemt men brandstofrijk, een mengsel met $\varphi < 1$ brandstofarm.

Bunsenvlammen

De bunsenvlam, voor chemici een van de meest bekende vormen van aardgasverbranding, staat model voor de vlammen in veel huishoudelijke gasapparaten. Een voorbeeld

van een bunsenvlam toont afbeelding 4. De scherpe lijn in het centrum van de vlam heet het vlamfront: hier vindt een groot deel van het verbrandingsproces plaats en stijgt de temperatuur van kamertemperatuur tot 1700 à 1900 K . Het licht van het vlamfront is onder andere afkomstig van de aanwezige CH -radicalen. Het vlamfront scheidt de binnenkegel van de buitenkegel. In de binnenkegel bevindt zich het onverbrande gas-luchtmengsel; in de buitenkegel vindt een tweede gedeelte van het verbrandingsproces plaats door reacties met lucht uit de omgeving. De buitenkegel licht donkerblauw op door de reactie van CO met zuurstofatomen.

Ook buiten de buitenkegel vinden nog diverse reacties plaats; pas ver voorbij het vlamfront ontstaat een evenwichtssituatie. De concentraties van de aanwezige stoffen veranderen dan niet meer en er komt netto geen energie meer vrij. In een brandstof-arme vlam zal het vlamfront paars oplichten door de aanwezigheid van het formylradicaal ($\text{HCO}\cdot$). De buitenkegel is minder goed zichtbaar dan in de brandstofrijke vlam. Dit komt omdat in dit geval voorbij het vlamfront geen omgevingslucht



meer nodig is om de verbranding van aardgas te voltooien.

Als het verbrandingsproces ongestoord verloopt, komt er in aanwezigheid van voldoende lucht in principe geen CO vrij. OH-radicalen zullen tijdens de verbranding gevormde CO voor het merendeel oxyderen. De ervaring leert dat de uiteindelijk resterende hoeveelheid CO sterk afhangt van de details van de laatste fase van de verbranding, de constructie van het apparaat en de hoeveelheid beschikbare verbrandingslucht.

In aardgasvlammen kan stikstofmono-oxyde (NO) ontstaan in reacties waarbij moleculaire stikstof (N_2) uit het gas-luchtmengsel betrokken is. De vorming van NO kan plaatsvinden volgens twee mechanismen: het zogenaamde *Zeldovich-mechanisme*, dat alleen plaatsvindt bij hoge temperaturen en waarin de reactie tussen zuurstofatomen en stikstofmolekulen belangrijk is, en het *prompte mechanisme*, waarbij moleculaire stikstof met koolwaterstofradicalen reageert in een proces dat minder temperatuurgevoelig is en zich in het vlamfront afspeelt. Bij een vlam betekent dit dat als de temperatuur van de verbran-

dingsgassen direct na het vlamfront daalt tot onder circa 1700 K, er nauwelijks NO via het Zeldovich-mechanisme ontstaat maar nog wel via het prompte mechanisme.

In de praktijk hangt de hoeveelheid NO die ontstaat in sterke mate af van de details van het verbrandingsproces, met name de temperatuurverdeling en de concentraties van de betrokken radicalen. Menging met koele gassen en warmteverliezen door straling verschillen sterk van het ene apparaat tot het andere en bemoeilijken het voorspellen van de NO-productie. Een deel van het in de vlam gevormde NO reageert buiten de vlam tot NO_2 . Deze twee stikstofoxyden beschrijft men ook wel met NO_x , waarbij het getal x staat voor één of twee.

Vlamdiagnostiek

Het is nodig het verbrandingsproces tot in detail te kennen voordat men een uitspraak kan doen omtrent de CO- en NO_x -productie van een apparaat en eventuele mogelijkheden om deze te verminderen. Deze details kunnen op diverse manieren worden bepaald. Veelal meet men temperaturen en concentraties met technieken waarbij koude voorwerpen in de vlam worden gestoken. Deze verstoren echter het stromingspatroon en de plaatselijke temperatuur in de vlam, en beïnvloeden daardoor de chemie van het verbrandingsproces.

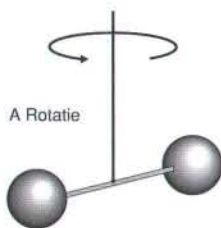
De afgelopen tien jaar zijn er technieken ontwikkeld waarmee het mogelijk is in een vlam te meten zonder deze te verstoren. Deze technieken maken gebruik van licht en baseren zich op de wisselwerking van het licht met de deeltjes (atomen, molekulen en radicalen) die voorkomen in het gas-luchtmengsel. Een atoom is opgebouwd uit een kern met daaromheen elektronen in bepaalde energieniveaus ('banen'). Een molecuul bestaat uit twee of meer atoomkernen met ertussen en eromheen elektronen. Net als in een atoom bevinden ook hier de elektronen zich in bepaalde energieniveaus om de kernen.

De energieniveaus van de elektronen bepalen slechts gedeeltelijk de energietoestand van het molecuul. Het molecuul kan namelijk ook nog roteren (draaien) om een van zijn symmetrie-assen (afb. 7A) en vibreren (trillen), bijvoorbeeld langs de bindingsassen tussen de atoomkernen (afb. 7B). Volgens de



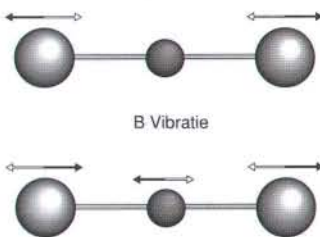
6

6. De stromen in een vlam worden zichtbaar door stroboscopische belichting van stofdeeltjes met een diameter van $1\ \mu\text{m}$ in de gasstroom.



7

7. Rotatie van een molecuul met twee gelijke atomen, bijvoorbeeld N_2 (7A). Symmetrische vibratie van een molecuul met drie atomen, bijvoorbeeld CO_2 (7B).



wetten van de quantummechanica kunnen bij de elektron-, rotatie- en vibratie-toestanden van een molecuul slechts bepaalde energiewaarden voorkomen. Radicalen, atomen of molekulen met een ongepaard elektron, bevinden zich in dezelfde soort energietoestanden als andere atomen en molekulen. Alle soorten deeltjes en verbindingen zijn herkenbaar aan hun specifieke energietoestanden.

Een lichtstraal kan worden beschouwd als een bundel fotonen (lichtdeeltjes). Elk foton bezit een energie die afhangt van de golflengte (kleur) van het licht, volgens de formule $E = hc/\lambda$. In deze formule is λ de golflengte van het licht, c de snelheid van het licht en h de constante van Planck. Als een lichtstraal zich door een medium (bijvoorbeeld een mengsel van gas en lucht) voortbeweegt, kunnen fotonen energie afstaan aan atomen en molekulen, waardoor de elektronische, rotationele of vibratoire energietoestand van deze deeltjes veranderen. Deeltjes die energie hebben opgenomen kunnen vervolgens een foton uitzenden met vaak een andere energie-inhoud en daardoor ook een andere golflengte dan het oorspronkelijke foton had.

Afhankelijk van de details van de wisselwerking van licht met de deeltjes in een gas-luchtmengsel kunnen we een aantal technieken onderscheiden om in een vlam met licht te meten: *spontane Ramanverstrooiing* gebruikt men voor het bepalen van temperaturen en concentraties van hoofdcomponenten, *laser-geïnduceerde fluorescentie (LIF)* voor het meten van

Optische meettechnieken

Bij het meten van spontane Ramanverstrooiing straalt men monochromatisch licht uit een laser door een mengsel; licht dat door het mengsel over een hoek van 90° wordt verstrooid, analyseert men vervolgens met behulp van een monochromator op golflengte. In het spectrum zal een aantal pieken voorkomen als gevolg van de energie-overdracht tussen de fotonen en molekulen, die daardoor in andere de rotationele energietoestanden terechtkomen. Volgens de wetten van de quantummechanica verdelen deeltjes zich met een zekere kans over een aantal bepaalde energietoestanden. Een spectrum geeft een beeld van alle mogelijke energietoestanden. Zowel de temperatuur als het verschil in energie tussen de energietoestand en de grondtoestand van een deeltje bepalen de grootte van deze kans. Daaruit volgt dat er een verband bestaat tussen de heersende temperatuur en de wijze waarop de intensiteit over de diverse toestanden is verdeeld.

Afbeelding 1-1 toont een spectrum van rotationele Ramanverstrooiing bij kamertemperatuur en bij vlamtemperatuur. De waarden langs de x-as drukken het verschil in golfgetal met het licht van de laser uit. Een golfgetal, uitgedrukt in de eenheid cm^{-1} , is de reciproke van de golflengte. De temperatuur bepaalt de vorm van de spectra, zodat men uit deze de temperatuur kan aflezen. Het grote voordeel van deze techniek is dat hij zonder ijking kan worden uitgevoerd.

In hetzelfde spectrum is, bij grotere verschillen in golfgetal (1000 tot $3000\ \text{cm}^{-1}$), ook een aantal pieken te zien die ontstaan door de overdracht van

concentraties van atomen, molekulen en radicalen als $O\cdot$, NO , $OH\cdot$ en CO , en *coherente anti-Stokes Ramanverstrooiing (CARS)* voor het bepalen van temperaturen vooral onder turbulente omstandigheden (zie intermezzo).

Vlammen belicht

Bij Gasunie Research in Groningen onderzoekt men met bovengenoemde technieken het gedrag van branders en toestellen (zoals ketels en geisers) bestemd voor huishoudelijke gebruik. Daarbij vraagt men zich af hoe de samenstelling van het aardgas en de constructie van branders en toestellen de stabiliteit van de vlam beïnvloeden. Verder hoopt men de al la-

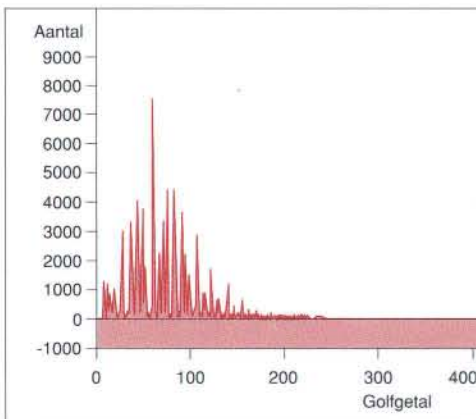
ge productie van schadelijke stoffen (CO , NO_x) bij de verbranding van aardgas nog verder te kunnen verminderen. Het uiteindelijke doel van het onderzoek is: in de toekomst het gedrag van branders en toestellen op voorhand te kunnen voorspellen aan de hand van de constructie en de eigenschappen van de gebruikte componenten. Naast de beschreven technieken gebruikt men ook fotografische methoden om het stromingspatroon van gasvlammen vast te leggen.

Voordat de technieken worden toegepast op branders uit toestellen, probeert men ze eerst uit op bunsenvlammen. Afbeelding 6 toont een opname van het stromingspatroon van een bunsenvlam. Met dit soort foto's bepaalt men

energie tussen fotonen en molekulen die in een andere vibratoire energietoestand komen. Deze pieken liggen goed gescheiden van elkaar in het spectrum, en kunnen dienen voor de bepaling van de relatieve concentraties van de molekulen. Deze methode heeft het nadeel dat hij alleen geschikt is voor componenten die voorkomen in concentraties boven

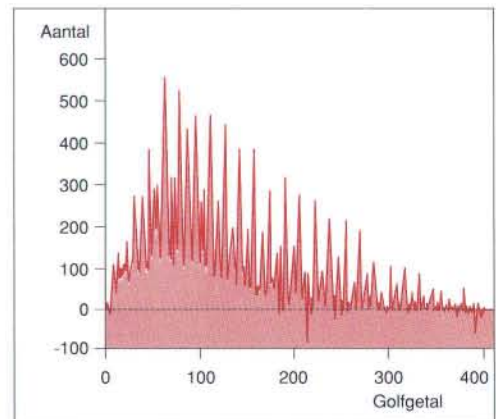
de één molprocent (1 molprocent = 0,01 mol van een stof op 1 mol totale stof).

Voor het meten van lagere concentraties van atomen, molekulen en radicalen gebruikt men een techniek die laser-geïnduceerde fluorescentie (LIF) heet. Het mengsel wordt bij deze techniek bestraald met licht uit een laser; het licht heeft een golflengte met

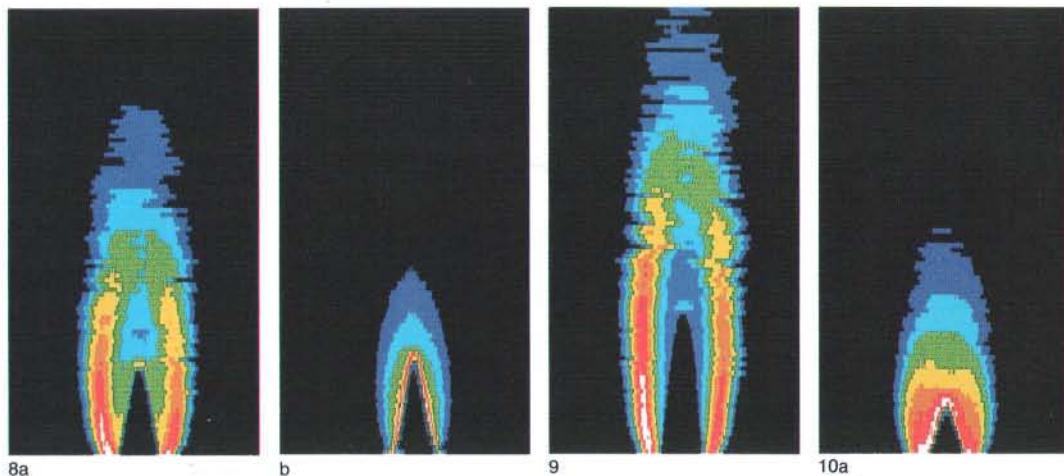


I-1

I-1. De temperatuur kan worden bepaald uit de verhouding in intensiteit tussen twee pieken in een spectrum van rotationele Ramanverstrooiing. De grotere aantallen fotonen, weergegeven langs de

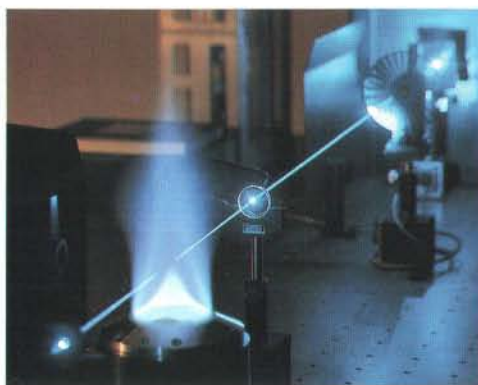


verticale as, bij kamertemperatuur ontstaan door de grotere dichtheid van gasen bij lage temperaturen.

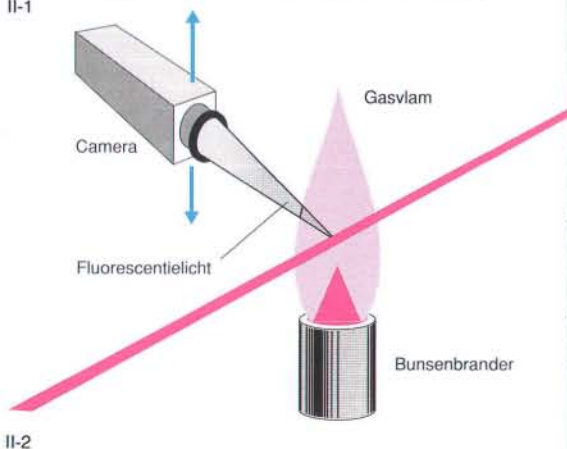


een energie die overeenkomt met het energieverval tussen twee toestanden in het deeltje waar men de concentratie van wil meten. Het mengsel zal een gedeelte van het laserlicht absorberen. Aangezien de golflengte specifiek is voor het deeltje, biedt dit de mogelijkheid om zeer selectief te kijken naar één component in het mengsel. Het deeltje in de nieuwe energietoestand beschikt over meer energie dan in de oorspronkelijke energietoestand. Daarom zal, wanneer de deeltjes (meestal stapsgewijs) terugkeren naar de oude toestand, de stof licht met een (vaak) langere golflengte uitzenden. De intensiteit van het uitgezonden licht is evenredig met de concentratie van de stof. Dit proces heet fluorescentie en brengt voldoende licht voort om met een enkele laserpuls van 5 nanoseconde een concentratiemeting te doen. Deze laserpulstijd maakt de fluorescentietechniek ook geschikt voor het bestuderen van turbulente processen, omdat de karakteristieke tijdschaal bij deze processen in de orde van milliseconden ligt.

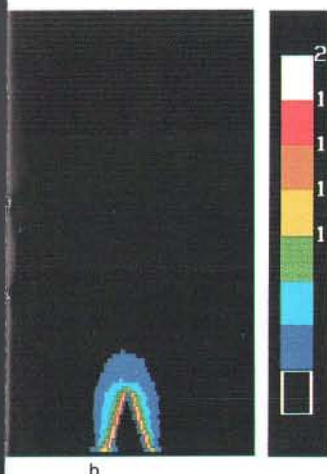
Het is ook mogelijk om met één puls van de laser temperatuurmetingen te doen. Hiertoe kruist men twee laserbundels met verschillende kleuren. Indien de bundels aan bepaalde condities voldoen, ontstaat op de plaats waar de bundels kruisen een derde lichtbundel; dit proces lijkt op de bovengenoemde spontane Ramanverstrooiing. De nieuwe bundel bevat een spectrum aan kleuren, waaruit de temperatuur van de vlam is af te leiden, zij het over het algemeen minder nauwkeurig dan met spontane Ramanverstrooiing. Deze meer ingewikkelde techniek heet coherente anti-Stokes Ramanverstrooiing (CARS).



II-1

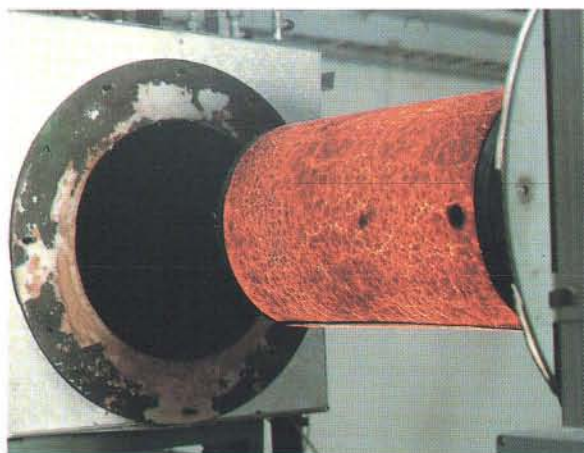


II-2



8, 9 en 10. Concentratieprofielen van OH-radicalen (8a, 9 en 10a) en CO-molekullen (8b en 10b) in diverse vlammen. Deze vlammen verschillen in de gas-luchtverhouding, die varieert van zeer brandstofrijk, $\varphi = 1,37$ (9), brandstofrijk, $\varphi = 1,19$ (8a en 8b) tot brandstofarm, $\varphi = 0,97$ (10a en 10b).

11. De low- NO_x -stralingsbrander is een staaltje van milieuvriendelijke techniek.

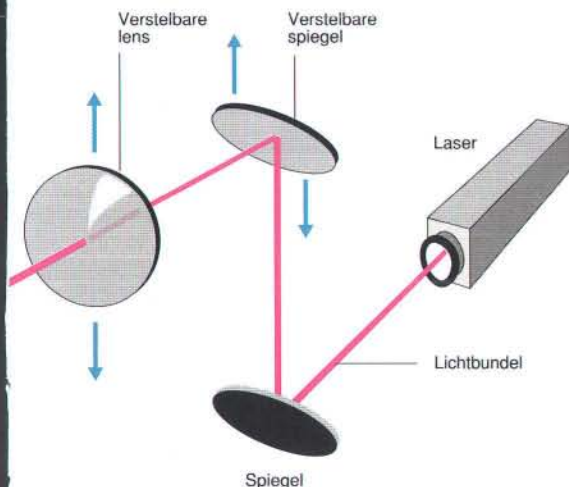


11

INTERMEZZO

II-1 en II-2. Laserlicht van 488 nm (Ramanspectroscopie, II-1) en laser-UV-licht (LIF, II-2) stralen door een aardgasvlam. Door de in hoogte verstelbare spie-

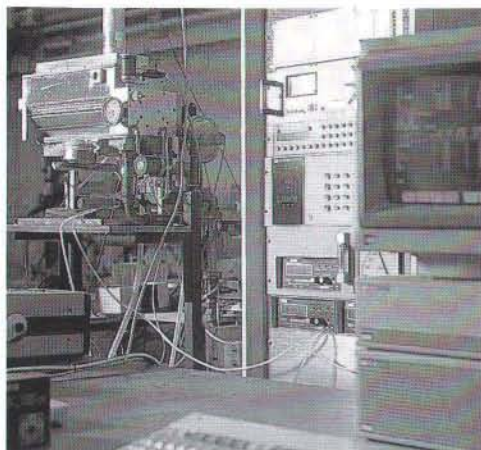
gel, lens en camera ontstaat in de te onderzoeken delen van de vlam meetbaar Raman-verstrooiing (II-1) en fluorescentielicht (II-2).



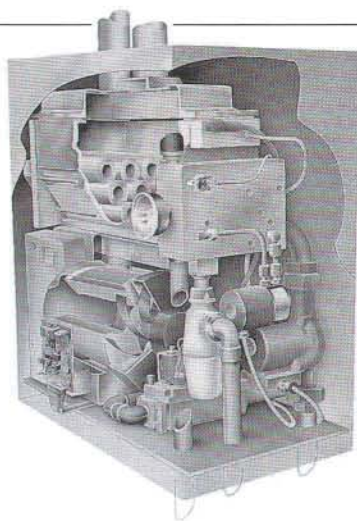
plaatselijk de uitstroomsnelheid van het mengsel. Met behulp van spontane Ramanverstrooiing meet men, eveneens plaatselijk, de samenstelling (en dus de gas-luchtverhouding) en de temperatuur van het gas-luchtmengsel. Uit deze twee meetgegevens kan men vervolgens de plaatselijke verbrandingssnelheid berekenen. Door het uitstroombestand met het verbrandingssnelheidsprofiel te combineren kunnen conclusies worden getrokken over de stabiliteit van de vlam en de invloed van branderconstructie en gassamenstelling hierop.

Met behulp van laser-geïnduceerde fluorescentie (LIF) bestudeert men de oxydatie van CO door OH-radicalen. Twee voorbeelden van relatieve concentratieprofielen van OH· en CO bij bunsenvlammen van een gas-luchtmengsel met een gas-luchtverhouding van 1,19 zijn te zien in afbeelding 8a en b. In de afbeelding duidt wit de hoogste concentratie aan en zwart de laagste. Om deze beelden te genereren verplaatst men een bundel ultraviolet licht van een laser in stapjes verticaal door de vlam. Een camera, bestaande uit een rij van 700 fotodiodes op een chip en geplaatst achter een beeldversterker, beweegt tegelijkertijd in even grote stapjes langs de vlam om het fluorescentielicht te meten. Filters voor de diodes houden laserlicht en vlamlicht tegen.

Om een beeld van de verdeling van OH· te verkrijgen gebruikt men laserlicht met een golflengte van 283,2 nm. De grootste concentratie van OH-radicalen bevindt zich langs de buitenkegel van de vlam; daar komt het ge-



12



13

deeltelijk verbrande mengsel in contact met de omgevingslucht. Verder valt op dat zich in het onverbrande mengsel in de binnenkegel geen $\text{OH}\cdot$ bevindt (afb. 8a). De concentratieverdeling van CO (afb. 8b) is op vergelijkbare wijze gemeten, ditmaal met licht met een golflengte van 230,1 nm. De aanwezigheid van CO in het vlamfront is goed zichtbaar.

Als de gas-luchtverhouding wordt opgevoerd tot 1,37 verdwijnt het vlamfront bijna volledig uit het concentratieprofiel van $\text{OH}\cdot$ (afb. 9). Dit verschijnsel verschilt volledig van het beeld van een vlam van een brandstof-arm gas-luchtmengsel met een gas-luchtverhouding van 0,97. In deze vlam ligt de hoogste concentratie van $\text{OH}\cdot$ langs de binnenkegel van de vlam. De concentratieverdeling van CO in dezelfde vlam in afbeelding 10b lijkt wel sterk op die van de brandstofrijke vlam.

Huishoudelijke toestellen

Dat branders uit huishoudelijke toestellen in sommige opzichten sterk op bunsenbranders lijken, laat afbeelding 14a zien. Deze afbeelding toont de OH -concentratieverdeling in de vlammen van twee branders uit een geiser met een zeer brandstof-rijk mengsel. De bijbehorende CO-concentratieverdeling is te zien in afbeelding 14b, met een schaalverdeling die de lage concentraties benadrukt. De LIF-afbeeldingstechniek kan nu dienen om de invloed van de afstand tussen de branders op de CO-productie te onderzoeken.

12 en 13. Deze pas ontwikkelde hoogrendementsketel voor centrale verwarming geeft een lage waarde voor NO_x -emissies.

14 en 15. Concentratieprofielen van OH -radicalen (14a en 15a) en CO-moleculen (14b en 15b) in vlammen op een brander uit een geiser. De schaal in de CO-concentratieprofielen is aangepast aan de lage CO-concentraties. De afstand tussen de twee branders is in afbeelding 15 met een kwart gereduceerd ten opzichte van afbeelding 14. Bij kleinere afstand blijkt hier tot op grotere hoogte CO aanwezig te zijn.



14a



15a

Afbeeldingen 15a en b geven dezelfde beelden als afbeeldingen 14a en b, echter nu met een onderlinge afstand tussen de vlammen die met een kwart gereduceerd is. De vlammen gaan nu één geheel vormen en met name het CO-concentratieprofiel loopt nu veel verder door naar boven. Dit komt doordat er op deze plaats de $\text{OH}\cdot$ ontbreekt om het CO verder te oxyderen en dat kan consequenties hebben voor de CO-productie van een toestel. Indien een koud lichaam te dicht boven de vlam hangt (bijvoorbeeld een warmtewisselaar), kan het verbrandingsproces daar abrupt stoppen. Als er op deze plaats nog CO aanwezig is, zal dit met de verbrandingsgassen vrijkomen.

Door met LIF de concentraties van CO en

$\text{OH}\cdot$ te meten, is het mogelijk de snelheid waarmee CO tot CO_2 reageert te berekenen. Zoals hierboven beschreven kan men dan ook onderzoeken waarom het ene apparaat meer CO produceert dan het andere: als blijkt dat op een plaats met veel CO onvoldoende $\text{OH}\cdot$ voorkomt, is het duidelijk waarom er veel CO ontstaat. Op dezelfde manier kan men iets over de vormingssnelheid van NO zeggen als de concentraties van O- en NO en de temperatuur bekend zijn.

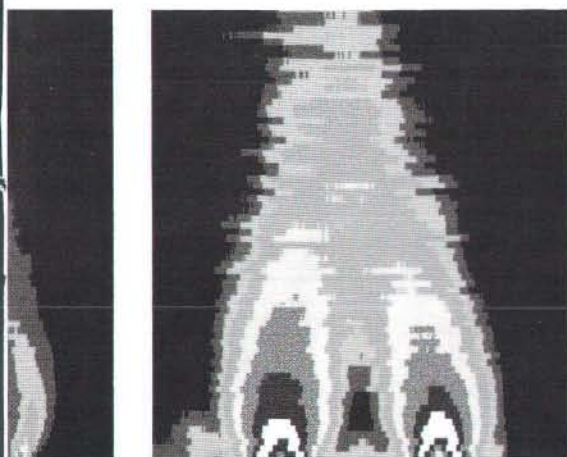
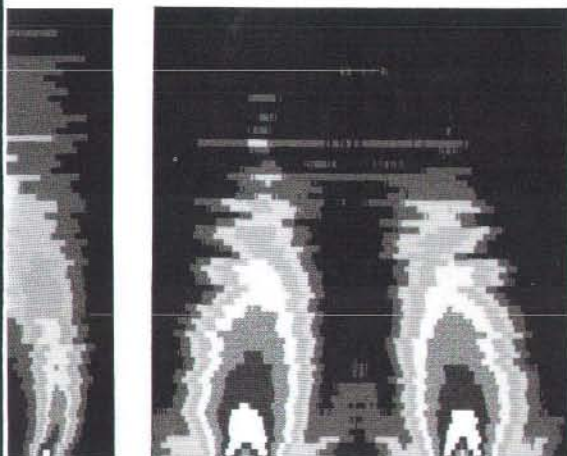
Door de details van het verbrandingsproces en de invloed die de constructie van het verbrandingsapparaat hierop uitoefent, te bestuderen met behulp van fundamentele optische technieken is het mogelijk nieuwe inzichten in het verbrandingsproces te verwerven. Deze kennis kan men de komende jaren gebruiken bij het praktische onderzoek naar methoden om de vorming van schadelijke stoffen bij de verbranding van aardgas en andere fossiele brandstoffen te verminderen.

Literatuur

- J. Warnatz. Elementarreaktionen in Verbrennungsprozessen. Brennstoff, Wärme, Kraft 1985; 37: 1, 11-19.
W.J. Klijn. Van vlam tot vuur. Natuur en Techniek 1987; 55: 12, 986-997.
C. Gooijer. Spectrometrische methoden: IR/Fluor. Natuur en Techniek 1985; 53: 2, 98-113.

Bronvermelding illustraties

- Max Planck Gesellschaft, Göttingen: pag. 376-377
N.V. Nederlandse Gasunie, Groningen: 3, 11, 12, 13, II-1
Shell/Rofoto Rotterdam: 2
Fotostudio John Stoel, Haren: 5
J. Warnatz, uit Brennstoff, Wärme, Kraft 1985; 37, 1: 1
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteurs



KUNSTMATIGE ONVRUCHTBAARHEID

DE REM OP REPRODUCTIE



G.H. Zellmaker

Afdeling endocrinologie, groei en voortplanting
Erasmusuniversiteit Rotterdam

In ontwikkelingslanden biedt een klein gezin meer kans op welvaart dan een groot. Dat is dan ook de strekking van deze schildering op een Indiase auto. Het schrikbeeld van een arm groot gezin, wil jongeren bewegen tot geboortenbeperking. De omgekeerde driehoek in de rechter bovenhoek is in heel India het symbool van de acties die de bevolkingsgroei moeten stuiten.



Op Aarde kunnen vermoedelijk veel meer mensen leven dan nu het geval is. De wereldvoedselproductie neemt nog altijd sneller toe dan de wereldbevolking. Toch kan de huidige bevolkingsgroei niet doorgaan. In de afgelopen veertig jaar is de wereldbevolking verdubbeld van 2,5 tot 5 miljard mensen. In het jaar 2025 bevolken we de wereld met 8,5 miljard zielen. Uit de praktijk blijkt dat alleen door middel van actieve overheidsvoorlichting het geboortecijfer te verlagen is. De behoefte aan veilige anticonceptiemethoden is groot. Vele technische ontwikkelingen bestaan reeds, en waarschijnlijk heeft de toekomst in dit opzicht nog meer te bieden.

Demografen hebben berekend dat in 2025 in de Verenigde Staten 288 miljoen mensen zullen wonen (thans 240 miljoen), in Nigeria 300 miljoen (thans 110 miljoen) en in India 1450 miljoen (thans 850 miljoen). Uit de praktijk blijkt dat alleen door middel van actieve overheidsvoorlichting het geboortecijfer te verlagen is. Aangezien de levensomstandigheden als gevolg van cultuur- en welvaartsverschillen sterk variëren, zal hiervoor ook een scala van geboortenbeperkende technieken nodig zijn. De behoefte aan veilige anticonceptiemethoden is groot. Dit blijkt uit het feit dat, volgens schattingen van de Wereldgezondheidsorganisatie, 100 à 200.000 vrouwen per jaar sterven als gevolg van complicaties bij een abortus.

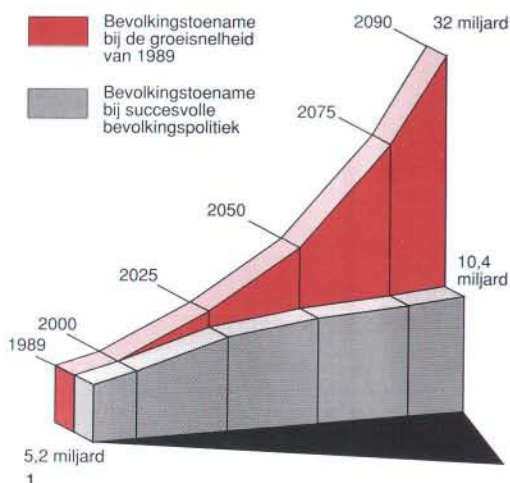
De technologische ontwikkeling rond de geboortenbeperking concentreert zich op een aantal terreinen: barrièretechnieken, hormonale anticonceptie, het spiraaltje, sterilisatie-technieken en immunologische methodes.

Natuurlijke anticonceptie

Bij een normale vruchtbaarheid is de kans dat een vrouw die met een man samenleeft zwanger wordt ongeveer 30% per cyclus. Na vier maanden samenleven is die kans dus vrijwel



2



1. Zo zal de wereldbevolking stijgen als de groeicijfers van 1989 de komende 100 jaar gehandhaafd blijven. De Wereldbank gaat

er van uit dat een groot deel van de wereldbevolking meer geboortebeperkende maatregelen zal nemen.

100%. De belangrijkste natuurlijke factor die eraan bijdraagt dat de statistische kans op zwangerschap kleiner wordt, is het zogenvan een kind. Bij een zogende moeder treedt in het algemeen geen eisprong (ovulatie) op, doordat de zoogprikkel de functie van de eierstokken (ovaria) sterk remt. In de ontwikkelingslanden is het zogenvan verantwoordelijk voor een uitstel van de volgende zwangerschap met ongeveer 15 maanden. Door borstvoeding te vervangen door melkpoederprodukten neemt het aantal geboorten sterk toe. De export van dergelijke produkten door onze industrie moet derhalve met gemengde gevoelens worden gezien.

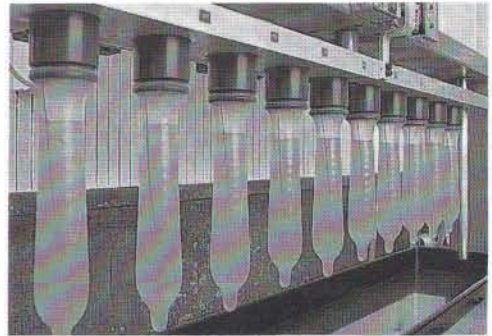
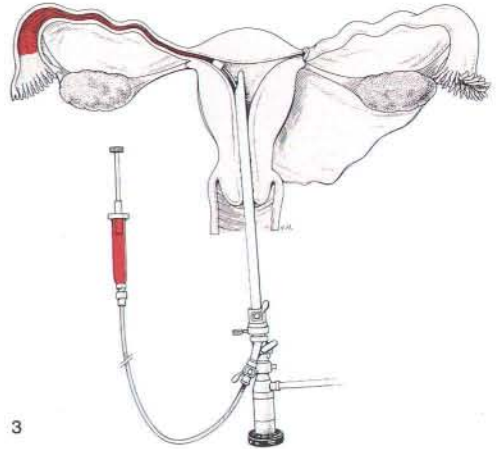
Barrière-methodes

Het oudste middel ter voorkoming van zwangerschap is het condoom. Al in de achttiende eeuw werden er condooms gebruikt die van darmen waren gemaakt. Vermoedelijk werd dit populaire middel in de eerste plaats ontwik-



2 en 3. Ovabloc® is een tamelijk nieuwe sterilisatiemethode met siliconenrubber die, in vloeibare vorm, met een hysteroscoop in de eileiders wordt aangebracht. Het rubber hardt binnen enkele minuten uit en sluit dan als een flexibel plugje de eileiders af. Dankzij wat zilverpoeder is het plugje op een röntgenfoto te zien. De methode is echter nog onvoldoende op betrouwbaarheid en veiligheid getest; toepassing op grote schaal vindt dan ook niet plaats.

4. Het oudste voorbehoedmiddel is het condoom. Nog steeds is het een betrouwbare methode, om niet alleen zwangerschap, maar ook AIDS of herpes te voorkomen. Deze installatie test condoms op lekages.



keld om de verspreiding van geslachtsziekten tegen te gaan. Ook thans wordt het gebruik van condoms gezien als het enige betrouwbare middel dat bescherming tegen de overdracht van AIDS en Herpes biedt.

Van historisch belang is voorts het gebruik van pessaria door de vrouw. Hierbij werd een rubber kapje over de baarmoedermond geplaatst. De betrouwbaarheid van deze methode is echter sterk afhankelijk van hoe handig de vrouw is om het pessarium op de juiste wijze aan te brengen.

Chirurgische sterilisatie

Mondiaal gezien is sterilisatie de meest verbreide vorm van geboortenbeperking. Het principe is eenvoudig: bij de vrouw worden de eileiders, en bij de man de zaadleiders ondoorgankelijk gemaakt. Chirurgische sterilisatie heeft geen invloed op de hormoonproductie en het libido van de betrokkene.

Bij vrouwen bestaat deze ingreep uit het maken van een kleine snede van ongeveer 5 centimeter lengte in de buikwand, onder algehele of plaatselijke verdoving, en het werken met een zogenaamde laparoscopus, een kijkbuis waarmee tevens ingrepen aan de eileiders of aan andere inwendige organen worden uitgevoerd. Het eigenlijke afsluiten gebeurt door afbinden met garen of met kleine metalen of plastic klemmen. De risico's bij deze ingreep zijn zeer gering, vooral wanneer geen 'algehele verdoving wordt toegepast. Slechts bij ongeveer één op de duizend ingrepen treedt als complicatie een infectie op.

Bij de man betreft sterilisatie een ingreep waarbij de zaadleiders, tussen de bijbal en de penis, worden afgebonden. De operatie duurt ongeveer vijftien minuten en wordt onder plaatselijke verdoving uitgevoerd. De eerste twee maanden erna is de man mogelijk nog vruchtbaar, want er bevinden zich dan nog zaadcellen in het gedeelte van de zaadleider dat

tussen de operatiewond en de plasbuis zit. Gedurende die tijd moeten andere voorbehoedsmiddelen een zwangerschap voorkomen. Sterilisatie heeft geen invloed op de functie van de zaadblaas en de prostaat. Na een chirurgische sterilisatie is in vijftig tot zeventig procent van de gevallen operatief herstel van de vruchtbaarheid bij zowel man als vrouw mogelijk.

In China zijn ook methoden uitgewerkt om zonder chirurgische ingreep steriliteit te veroorzaken. Met behulp van een catheter wordt bij een vrouw via de baarmoedermond een irriterende vloeistof ingebracht die ervoor zorgt dat de eileider dichtgroeit. Ook bij mannen is het mogelijk om door de huid van het scrotum heen stoffen in de zaadleider te spuiten die blokkades veroorzaken. Het voordeel van chemische sterilisatie is dat ook paramedisch personeel de ingreep kan uitvoeren.

Het spiraaltje

Het spiraaltje (Intra Uterine Device, IUD) wordt op grote schaal toegepast als geboortebeperkende techniek. Hierbij wordt een plastic of metalen voorwerp in de baarmoederholte gebracht, waarna onvruchtbaarheid volgt.

Het werkingsprincipe is niet geheel duidelijk. Bij rhesusapen zijn in de baarmoeder van IUD-dragende dieren degenererende embryo's geconstateerd. Bij vrouwen met een IUD komen, net als in de normale situatie, zaadcellen in de buikholte terecht. Deze kunnen derhalve de eileiders bereiken, waar de eicel normaliter wordt bevrucht. Het is niet uitgesloten dat bij draagsters van een spiraaltje ovulatie, bevruchting en de eerste embryonale delingen kunnen plaatsvinden. Het milieu in de baarmoederholte is echter ongeschikt geworden

5. Door zogen blijft de eisprong vaak langdurig achterwege. Met name in Derde-Wereldlanden is deze methode een sterke rem op de bevolkingsgroei.

6 en 7. De chirurg kan de sterilisatie van een vrouw volgen via een endoscoop. Hij brengt metalen klemmetjes aan (6) die de eileiders afsluiten. 7 Toont de bovenkant van de baarmoeder met aan weerskanten een afgesloten eileider.

8. Een spiraaltje in de baarmoederholte. In werkelijkheid is deze holte samengedrukt en is het baarmoederhalskanaal zeer nauw. De werking van het spiraaltje wordt versterkt door het plastic te omwikkelen met koperdraad. Soms wordt aan het plastic progestatief hormoon toegevoegd om bloedingen tegen te gaan.

9. Het nauwgezet gecontroleerde productieproces van anticonceptiepillen eindigt met het verpakken van de tabletten in 21- of 28-daagse strippen. Ook dat gebeurt in een omgeving vrij van smetten.



voor verdere embryonale ontwikkeling en in-nesteling in het baarmoederslijmvlies.

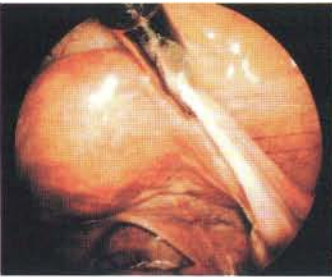
Het spiraaltje heeft als praktisch voordeel dat het slechts éénmaal hoeft te worden geplaatst en dan jarenlang werkzaam blijft zonder dat er nazorg nodig is. Het heeft meestal geen invloed op de menstruele cyclus en zodra het wordt verwijderd, treedt weer herstel van de vruchtbaarheid op.

Toch wordt het spiraaltje niet door alle vrouwen goed verdragen en zijn er redenen om het niet bij iedere vrouw te plaatsen. Er kunnen complicaties optreden, zoals pijnlijke en abnormale bloedingen gedurende de eerste drie maanden; ook kan men het IUD verliezen. Ofschoon het spiraaltje steriel wordt ingebracht en het kan worden verwijderd met behulp van een koordje dat via de baarmoedermond naar buiten in de vagina komt, kunnen

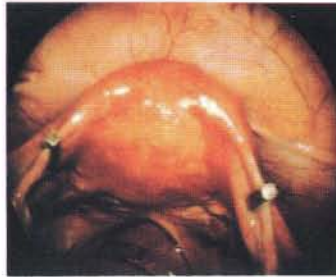
er langs dit koordje infecties in de baarmoederholte en de eileiders binnendringen en daarmee een permanente onvruchtbaarheid veroorzaken. Om deze reden wordt het spiraaltje meestal alleen toegepast bij vrouwen die al één of meer kinderen hebben gekregen.

Hormonale anticonceptie

De coördinatie van de verschillende voortplantingsfuncties vindt plaats door middel van hormonen – dat zijn biologisch actieve stoffen die via de bloedbaan worden getransporteerd en in doelwitorganen hun werking uitoefenen. Een peptide (LHRH) uit het centraal zenuwstelsel stimuleert de hypofyse-voorkwab tot de afgifte van gonadotrope hormonen (FSH en LH), die op hun beurt de gonaden (eierstokken en testikels) prikkelen. Als reactie



6



7



8

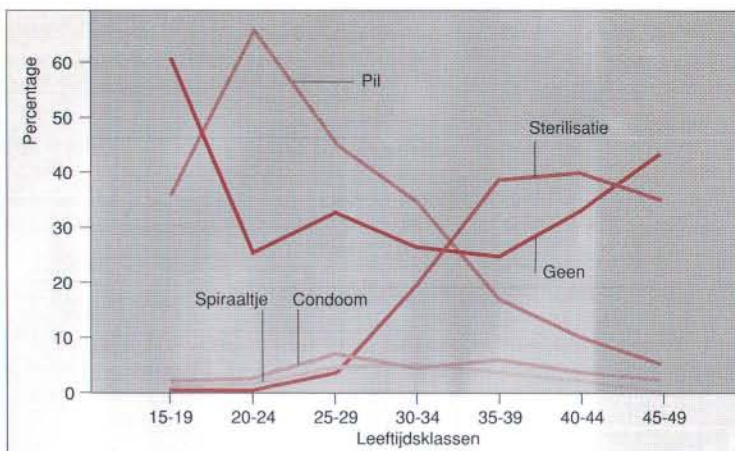


9

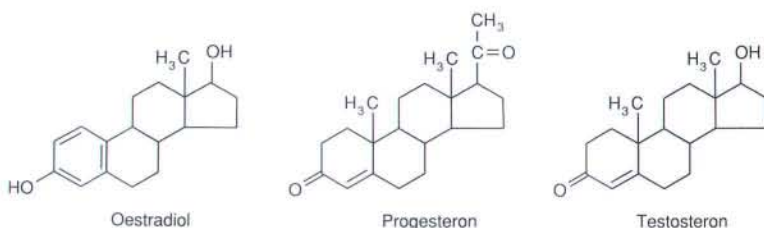
10. Het gebruik van anti-conceptiemiddelen en -methoden per leeftijds-klasse in Nederland.

11. Oestradiol is het belangrijkste steroïdhormoon tijdens de eerste helft van de menstruele cyclus. Na de eisprong vindt ook vorming van progesteron plaats. Testosteron is het mannelijk geslachtshormoon. Ook bij vrouwen komt het voor. Verbindingen afgeleid van oestradiol hebben ook na oraal gebruik een oestrogene werking. In de eerste ovulatiereemmende middelen bevatten mestranol, de nieuwere typen ethinyloestradiol. Een nieuwe, zeer krachtig werkende progestatieve verbindingen is desogestrel.

12. De beweeglijkheid van zaadcellen kan met behulp van een telkamer onder een microscoop worden vastgesteld. Het is een criterium voor de vruchtbaarheid van de man, en dus voor de ontwikkeling van de 'mannen-pil'.



10



11

hierop produceren de gonaden geslachtscellen (eicellen of zaadcellen) en steroïdhormonen. Deze steroïdhormonen stimuleren vervolgens secundaire geslachtsorganen zoals de baarmoeder en de prostaat; bovendien geven ze een signaal aan de hypofysevoorkwab. Lang vóór de ontdekking van de hormonen heeft een aantal onderzoekers al in de 19e eeuw vermeld dat het gele lichaam (corpus luteum), dat na het vrijkomen van de eicel in de eierstok wordt gevormd, het optreden van volgende ovulaties (cycli) remt.

Dit was een reden voor chemici om uit te zoeken welke substantie uit het gele lichaam het optreden van ovulatie bij proefdieren kan verhinderen. In 1936 werd vastgesteld dat dit het hormoon progesteron is: het remt de ovulatie door in te werken op de hersenen of de hypofyse-voorkwab.

In de vijftiger jaren leidden biologische en klinische onderzoeken tot de eerste duidelijke resultaten met de orale ovulatiereemmende anticonceptiepil. Het eerste produkt bevatte 9,85 milligram van de progestatieve stof nor-

ethynodrel en 150 microgram van de oestrogene stof mestranol. Het bijzondere van deze synthetische hormonen is dat zij ook na innamen via de mond in staat zijn de werking van de natuurlijke hormonen progesteron en oestradiol na te bootsen. De combinatie werd gekozen om een zo natuurlijk mogelijk menstruatiepatroon bij de vrouw te veroorzaken. Gedurende drie weken werd dagelijks een pil genomen, waarna één week rust volgde. Als gevolg hiervan trad de maandelijkse bloeding op.

De pil bevat beide typen hormonen die bij de menstruatiecycclus een rol spelen: oestrogenen en progesteron. De progestatieve component in de pil draagt sterk bij aan de opbouw van het baarmoederslijmvlies, waardoor een normaal lijkend menstruatiepatroon ontstaat. De oestrogene component verhindert het optreden van tussentijdse bloedingen.

Helaas zijn mestranol en het tegenwoordig meer toegepaste ethinyloestradiol ook verantwoordelijk voor een aantal ongewenste bijwerkingen, zoals misselijkheid. Geleidelijk aan is de hoeveelheid oestrogenen in de pil daarom

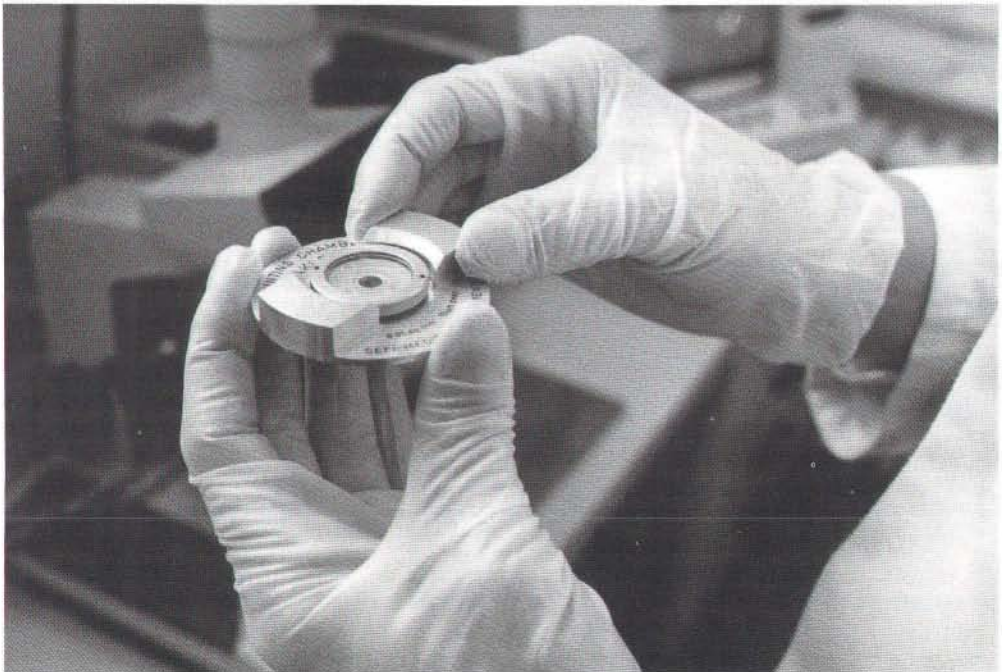
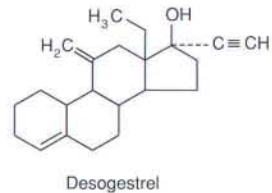
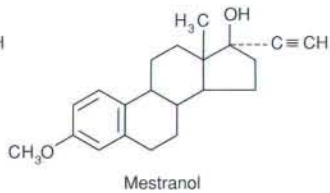
verkleind van 150 microgram tot 30 microgram per dag, zonder dat dit de effectiviteit van de pil verlaagde.

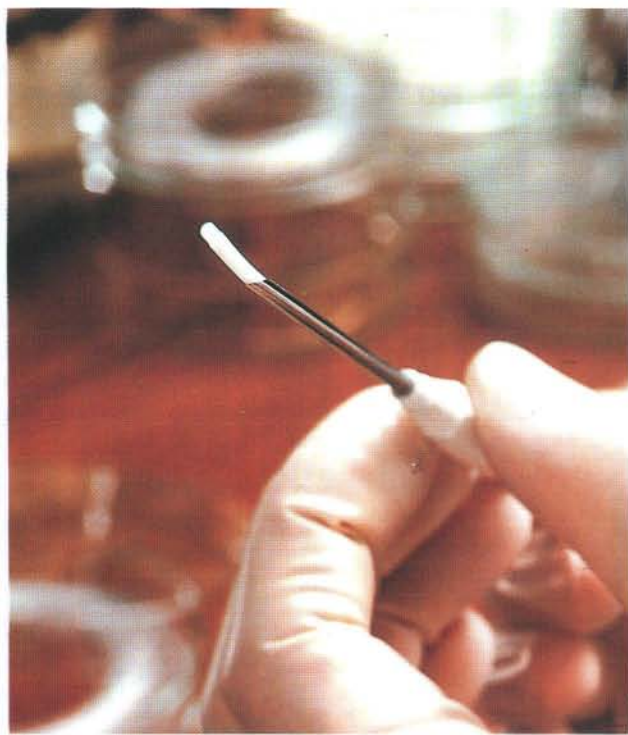
Door tal van industrieën worden ovulatieremmende steroïden geproduceerd en als anti-conceptivum op de markt gebracht. In enkele gevallen vermoedde men schadelijke bijwerkingen bij de mens. Zo werd na het constateren van tumorvorming bij honden de ovulatieremmer chlormadinon in een aantal landen uit de handel genomen.

De nieuwste generatie stoffen met anticonceptieve werking is afgeleid van levonorgestrel. Deze verbindingen (onder andere desogestrel) zijn de meest actieve progestativa die we tot nu toe kennen. De effectieve dagelijkse

dosis bedraagt 150 microgram per dag in combinatie met een geringe hoeveelheid van 20-30 microgram ethinyloestradiol. Dat de oudere producten wellicht nadelige bijwerkingen hebben, zoals een verhoogde kans op trombose bij sigarettengebruik, verhoogde bloeddruk en veranderingen in het glucose-metabolisme, komt in een ander licht te staan als we bedenken dat de levonorgestrel-derivaten tegenwoordig in zeer lage doseringen worden toegepast.

Een gunstige bijwerking van de anticonceptiepil is dat de kans op het krijgen van baarmoedercarcinoom en ovariumcarcinoom door gebruik van de pil wordt verminderd. Zelfs lang na het beëindigen van het pilgebruik kan





13



14

13 en 14. Pil-capsules kunnen met een holle naald onderhuids worden aangebracht en veroorzaken dan gedurende vijf jaar onvruchtbaarheid bij vrouwen. Vooral in ontwikkelingslanden verwacht men een drastische afname van de bevolkingsgroei als het middel op grote schaal wordt toegepast.

15. Om deze eicel van een muis, die sterk lijkt op die van een mens, is de buitenste omhulling, de zona pellucida, goed te zien. Deze laag biedt mogelijk aanknopingspunten voor immunologische anticonceptiva.

de beschermende werking tegen deze twee gevaarlijke tumoren worden aangetoond. Voorts is vastgesteld dat in de Verenigde Staten als gevolg van pilgebruik goedaardige afwijkingen in de borstklier veel minder voorkomen. Over een relatie tussen pilgebruik en het ontstaan van borstkanker en baarmoederhalskanker is veel minder bekend.

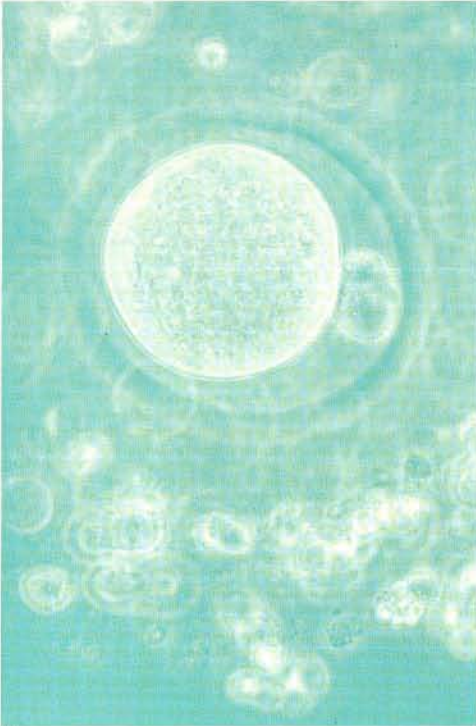
Andere vormen van hormonale anticonceptie

Ovulatieremmende hormonen worden niet alleen in tabletvorm maar ook via injecties toegediend; ze kunnen dan drie maanden werkzaam zijn. In veel ontwikkelingslanden is de distributie van de pil en de gebruiksinstructie namelijk een groot probleem. Een belangrijke nieuwe ontwikkeling in dit verband is de toediening van progestativa door middel van onderhuidse capsules, die een werkingsduur van vijf jaar hebben. Dit vereist een eenmalige toediening door een arts; verder is nazorg en voorlichting overbodig. Wil de vrouw kinderen krijgen, dan kunnen de capsules worden

verwijderd. In Zuidoost-Azië wordt dit middel veel gebruikt met de bedoeling om het tijdstip van de eerste zwangerschap met vijf jaar uit te stellen. Op deze wijze wordt een drastisch effect op de bevolkingsgroei verkregen.

Daarnaast kennen we de zogenaamde minipil. Deze bevat geen oestrogeen hormoon, maar wel een kleine hoeveelheid progestatium. Ook hiermee kan zwangerschap worden voorkomen, maar de minipil moet, meer nog dan andere soorten pillen, stipt elke dag worden ingenomen. De werking ervan berust hoofdzakelijk op het veranderen van de eigenschappen van het slijm in het baarmoederhalskanaal, met als gevolg dat de zaadcellen niet kunnen passeren.

Een andere populaire pil is de zogenaamde sequentie-pil, die tijdens de eerste helft van de cyclus alleen een oestrogeen (ethinyloestradiol) bevat en in de laatste twee weken een combinatie van een progestatief en een oestrogeen hormoon; op deze manier wordt het natuurlijk verloop van de hormoonspiegels zoveel mogelijk nagebootst.



15

Wanneer er slechts zelden sexueel contact plaatsvindt, is een continue behandeling met steroïden niet zo gewenst. In dergelijke gevallen kunnen de zogenaamde morning-afterpil en de weekendpil worden toegepast. Deze blijken echter alleen als noodmiddel aanvaardbaar te zijn, omdat ze zoveel bijverschijnselen oproepen.

Een pil voor de man?

Vanwege de maandelijkse terugkeer van de ovulatie en de structuur van het slijm van de baarmoederhals zijn er bij de vrouw duidelijke en specifieke aangrijpingspunten te vinden om de voortplantingsfuncties hormonaal te beïnvloeden. Bij de man ligt dat anders; de testis kent een continu proces van hormoonvorming en zaadcelvorming. De zaadcelvorming is afhankelijk van testosteron, het mannelijk geslachtshormoon. Testosteron stimuleert niet alleen de zaadcelvorming maar ook de ontwikkeling van de secundaire geslachtskenmerken zoals haargroei, musculatuur en libido. Een

totale onderdrukking van de testosteronproductie is dus vanwege de ongewenste uitvalsverschijnselen niet mogelijk. Er wordt nu naar een behandelingschema gezocht waarbij de secundaire geslachtskenmerken op aanvaardbaar niveau gehandhaafd blijven en de vorming van zaadcellen zo sterk wordt geremd dat er sprake is van onvruchtbaarheid. Dat betekent wel dat de zaadcelvorming nooit volledig wordt onderdrukt en dat er dus ook geen zekerheid bestaat over volledige onvruchtbaarheid. Verder moeten we bedenken dat het vruchtbare leven van de vrouw belangrijk korter is dan dat van de man. Het is onmogelijk uitspraken te doen over de effecten van hormoongebruik door de man gedurende 30 tot 50 jaar. Een hormoonpil of ander chemisch of immunologisch middel waarmee de man veilig kan worden behandeld is nog niet in zicht.

De abortuspil

De hierboven beschreven hormonale anticonceptie bij de vrouw is in principe gebaseerd op een onderdrukking van de afgifte van het gonadotroop hormoon door de hypofyse-voor-kwab of het ondoorgankelijk maken van het baarmoederhalskanaal met behulp van kunstmatige steroïden. Sinds enkele jaren is er een nieuwe ontwikkeling gaande die gebaseerd is op het inzicht dat de innesteling van het embryo en de instandhouding van de vroege zwangerschap alleen maar kunnen plaatsvinden wanneer de baarmoeder onder invloed staat van progesteron.

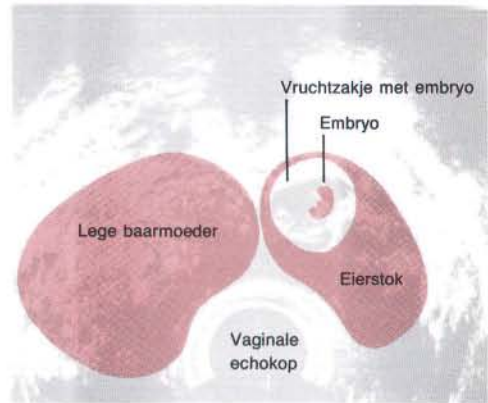
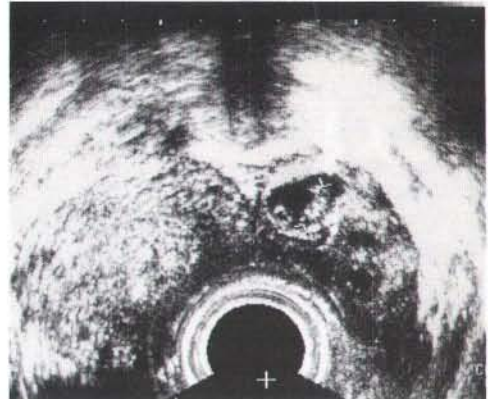
Kort na de innesteling van het embryo, ongeveer acht dagen na de bevruchting, produceert het jonge embryo een eiwithormoon, HCG (Humaan Chorion Gonadotropine), dat het gele lichaam in de eierstok stimuleert progesteron te blijven synthetiseren. Het gevolg is dat er geen menstruatie optreedt. Progesteron bindt zich aan de progesteronreceptor van cellen in het baarmoederslijmvlies en activeert daarmee de genen die voor de ontwikkeling van de zwangerschap noodzakelijk zijn.

Een tiental jaren geleden is in Parijs de progesteronreceptor uit de baarmoeder van proefdieren geïsoleerd. Men ging vervolgens na of er steroïden kunnen worden gemaakt die zich goed hechten aan deze receptor, maar niet het biologische effect oproepen dat progesteron zou hebben. Zo'n stof zal in het lichaam de

bindingplaatsen van progesteron bezetten en het natuurlijke hormoon verhinderen zijn werking uit te oefenen. Uit dit onderzoek is RU 486 voortgekomen, een kunstmatig gemaakte stof die samen met een kleine dosis prostaglandine een vroege zwangerschap bij de mens afbreekt en een menstruele bloeding doet ontstaan. Al meer dan 25000 vrouwen hebben in Frankrijk een zwangerschap beëindigd door gedurende drie dagen een tablet in te nemen en daarna in de vagina een tampon te dragen met een lage dosis prostaglandine. De bijwerkingen blijken veel geringer te zijn dan bij een abortus in de operatiekamer. De verspreiding van het RU 486 stuit op veel weerstanden, met name van zogenaamde pro-life-bewegingen. In de Verenigde Staten wordt het medicijn niet geïntroduceerd, uit vrees voor boycotmaatregelen. In Frankrijk daarentegen vindt de productie en introductie van deze pil plaats op uitdrukkelijk verzoek van de Franse minister van volksgezondheid.

Immunologische methoden

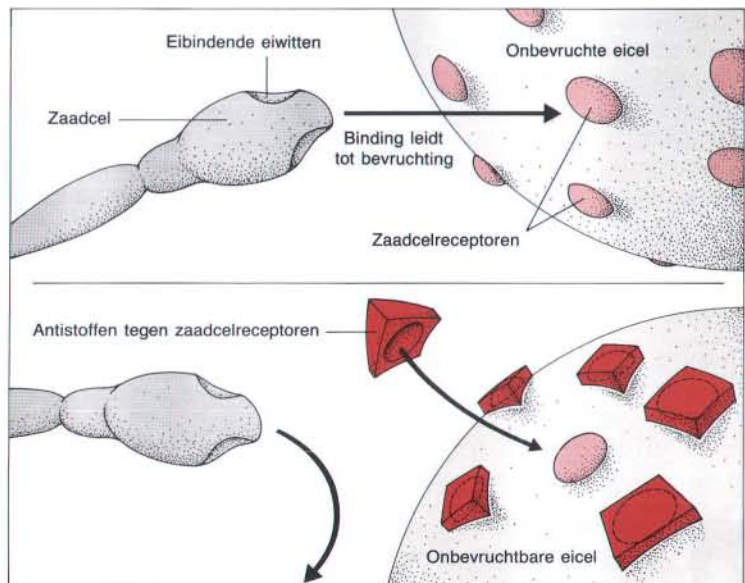
Het is nog niet mogelijk de vruchtbaarheid te beïnvloeden met vaccins. Sinds enkele jaren wordt getracht immuniteit tegen HCG op te wekken. Dit eiwifthormoon wordt in grote hoe-



16

16. Het is al enkele malen gelukt een buitenbaarmoederlijke zwangerschap met monoklonale antistoffen te beëindigen. Mogelijk kan deze methode binnenkort bij veel vrouwen een ingrijpende behandeling voorkomen.

17. Antistoffen tegen de zaadcelreceptoren op de eicel, kunnen een zwangerschap verhinderen, doordat ze de binding van zaadcellen blokkeren en zo een bevruchting onmogelijk maken. De antistoffen vormen een zwangerschapsvaccin. Deze elegante methode staat echter nog in de kinderschoenen en is nog lang niet geschikt voor toepassing bij mensen.



17

veelheden geproduceerd door het zeer jonge embryo, en wel vanaf het tijdstip van de innesteling. Al één week na de innesteling in de baarmoeder kan HCG in de urine van de zwangere vrouw worden aangetoond met een zwangerschapstest. Gedurende enige weken hierna is de progesteronvorming in het gele lichaam afhankelijk van HCG. Door dit hormoon met antistoffen te neutraliseren zou men het ontstaan van zwangerschap kunnen verhinderen. Een probleem bij de ontwikkeling van een vaccin waarop het lichaam reageert met de vorming van de juiste antistoffen tegen HCG is het feit dat een deel van het HCG-molekuul identiek is aan dat van hypofysehormonen. Het is dus van belang alleen tegen een specifiek deel van het HCG-molekuul (de β -keten) antistoffen te ontwikkelen.

Uit onderzoek is gebleken dat er na vaccinatie van proefdieren met β -HCG antistoffen tegen HCG worden gevormd. Maar de verdere ontwikkeling van een anticonceptie die op vaccinatie tegen HCG is gebaseerd stuit op problemen, omdat het kostbare β -HCG in het lichaam een zeer korte halfwaardetijd heeft en ook in andere organen de binding van de opgewekte antistoffen optreedt.

Een andere methode om de zwangerschap te onderbreken is een vorm van passieve immuni-

satie tijdens de vroege zwangerschap; daarvoor gebruikt men monoklonale antistoffen tegen β -HCG die uit muizen afkomstig zijn. Onlangs is er bij enkele vrouwen een buitenbaarmoederlijke zwangerschap met deze vorm van behandeling beëindigd. Gewoonlijk is hiervoor een ingrijpende operatie of een behandeling met toxische, chemotherapeutisch werkzame stoffen noodzakelijk.

Een mogelijk nieuwe lijn van onderzoek op dit gebied is het vaccineren van het organisme tegen het eiwit dat zich op de *zona pellucida* rond de eicel bevindt en waaraan de zaadcel zich tijdens het bevruchttingsproces vasthecht. Dit eiwit is in gezuiverde toestand verkregen en inmiddels in bacteriën gekloneerd, zodat het in voldoende grote hoeveelheden beschikbaar is om muizen actief te immuniseren. De dieren met een hoge concentratie antistoffen tegen dit eiwit blijken gedurende een deel van hun leven onvruchtbaar te zijn.

Voordat een dergelijk vaccin ook voor klinisch gebruik geschikt is, is er veel onderzoek aan grote proefdieren nodig. Voorts moet zorgvuldig worden nagegaan of de antistoffen zich ook niet aan andere lichaamsdelen dan de *zona pellucida* hechten. Het zal tenminste vijf jaar duren alvorens bij de mens proeven op dit gebied kunnen worden uitgevoerd.

Literatuur

- Population Reports Seria A, No. 7, November 1988 over: Lower dose pills. Uitgave van Johns Hopkins University, Baltimore, USA.
- E. Diczfalusy, Has Family Planning a Future? *Contraception* 35 (1987)1.
- N. Keyfitz, The growing human population. *Scientific American* september 1989.
- WHO Scientific Report 753. Mechanism of action, safety and efficacy of intrauterine devices.
- S. Harvey, Female sexual behavior: fluctuations during the menstrual cycle. *J. Psychosomatic Research* 31 (1987) 101.
- E. Beaulieu, Applications of RU-486. *Science* 245 (1989) 1351.
- S. Millar e.a., Vaccination with a synthetic *zona pellucida* peptide produces long-term contraception in female mice. *Science* 246 (1989) 935.

Bronvermelding illustraties

- Koninklijk Instituut voor de Tropen/Tropenmuseum, Amsterdam: 388-389 en 5
- Ovabloc Europe BV, Leiden: 2 en 3
- LRC Nederland NV, Leerdam: 4
- Orthomed BV, Zwijndrecht: 6 en 7
- Akzo Pharma Division, Oss: 8, 9 en 13
- Filser/Max-Planck-Gesellschaft, München: 12
- Leiras, Helsinki: 14
- Dr Alberda, Ziekenhuis Dijkzicht, Rotterdam: 16
- De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

STIK

KRINGLOOP TUSSEN



Een van de hoofdbestanddelen van mest uit de bio-industrie zijn stikstofverbindingen. Teveel van deze mest betekent dan ook meestal een overmaat aan stikstof, die uiteindelijk als nitraat in het grond- en oppervlaktewater terecht komt. Het uitrijden van drijfmest met een sproeiwagen heeft bovendien als nadeel dat een deel van de ammoniak uit de mest vervluchtigt en ook elders een stikstofovermaat kan veroorzaken, met bodemverzuring als gevolg. Door de wettelijk voorgeschreven injectie van mest in de bodem, is het laatste probleem binnen enkele jaren opgelost.

Bodem en oppervlaktewater krijgen steeds meer stikstof te werken. Dit leidt tot verontreiniging van het grondwater met nitraat en draagt bij aan de verzuring van de bodem, de slechte conditie van bossen en de vergrassing van heiden, de achteruitgang in de soortenrijkdom van de vegetatie en de aantas-

STOF

HEMEL EN AARDE



**J.W. Woldendorp
en
H.J. Laanbroek**

*Instituut voor
Oecologisch Onderzoek
Heteren*

ting van cultuurmonumenten. In de landbouw stond lange tijd een zo groot mogelijke toevoer van stikstof voorop, maar thans is men de stof vaak liever kwijt dan rijk. Om de ongewenste effecten van een teveel aan stikstof te beperken en waar mogelijk teniet te doen, is een goed inzicht in de schakels van de na-

tuurlijke stikstofkringloop noodzakelijk. In dit artikel komen de verschillende stappen van die kringloop aan de orde, met vooral aandacht voor de micro-organismen die erbij betrokken zijn. De rol van het fotosyntheseproces als drijvende kracht van de kringloop krijgt speciale aandacht.

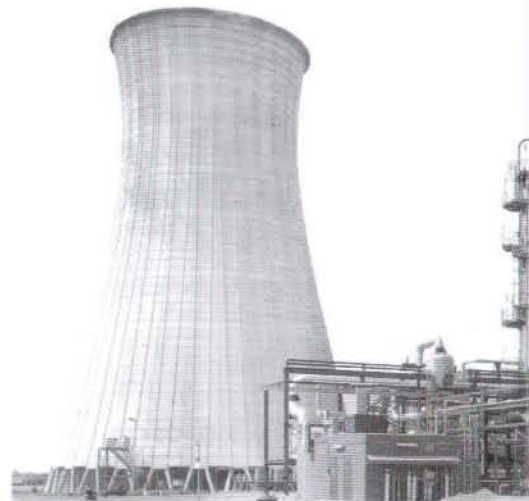
Het element stikstof komt voor in eiwitten en nucleïnezuuren (DNA en RNA) en is daarmee een essentieel onderdeel van alle levende wezens. Slechts een verwaarloosbaar klein deel van de op aarde aanwezige stikstof wordt er in aangetroffen. Het overgrote deel (97,8%) zit in het oergesteente, terwijl de atmosfeer bijna twee procent van het totaal bevat. Dat laatste betekent dat boven een hectare grasland, waarvan de organische stof hooguit 6 ton stikstof bevat, zo'n 70000 ton van het element aanwezig is. Bij de afbraak van organische stof ontstaan anorganische stikstofverbindingen en uiteindelijk stikstofgas. Doordat sommige organismen stikstofgas kunnen binden, ontstaat er een cyclus van stikstofomzettingen, de zogenaamde stikstofkringloop (afb. 11).

Alleen bij een voortdurende toevoer van energie kunnen cycli zoals de stikstofkringloop op gang blijven. Bij de stikstofcyclus zorgt de zon voor de benodigde energie. Planten en sommige bacteriën leggen die vast in organische koolstofverbindingen. De kringloop van stikstof is dus gekoppeld aan die van koolstof. Indien er voldoende koolstofverbindingen beschikbaar zijn, hebben de energie-vergende stappen van de stikstofkringloop (stikstofbinding, ammoniumassimilatie en denitrificatie) de overhand. Bij afwezigheid van energiedonors is nitrificatie het belangrijkste proces, waarbij nitraat als eindproduct ontstaat.

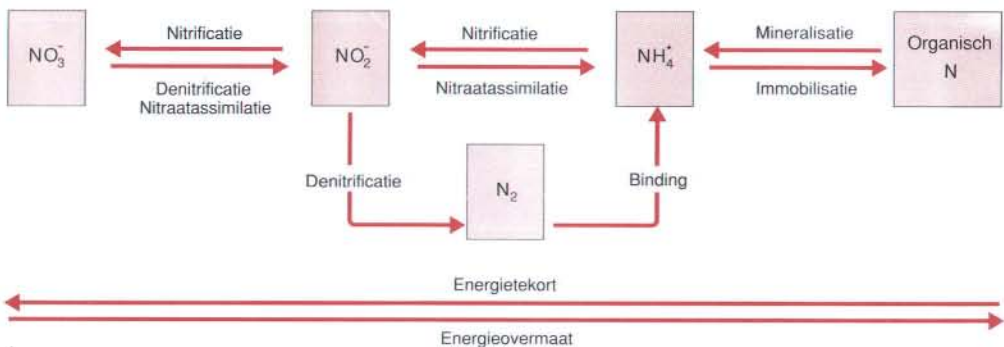
De aan- of afwezigheid van organische verbindingen bepaalt dus sterk de toestand waarin stikstof in ecosystemen voorkomt. Planten hebben, als leveranciers van koolstofverbindingen, dan ook een grote invloed op de stikstofomzettingen. In feite bepaalt de plantaardige productie hoeveel stikstof een ecosysteem

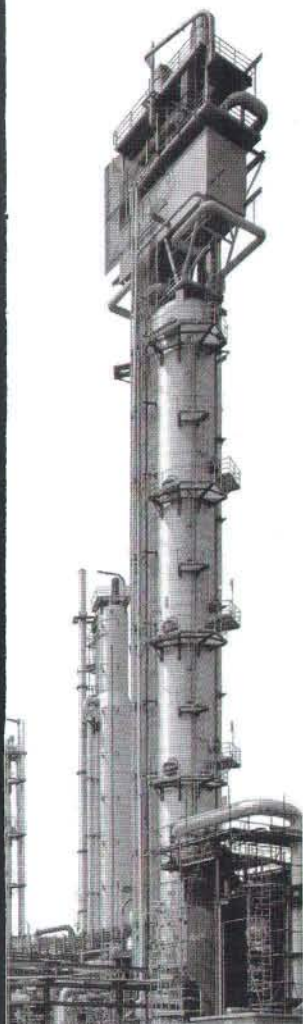
in organische verbindingen kan vastleggen. Is er een (relatief) gebrek aan stikstof, dan wordt het tekort via binding van stikstof uit de lucht weer aangevuld; is er een overmaat, dan verdwijnt deze in de vorm van nitraat.

Als gevolg van een continue opbouw en afbraak (*turnover*) van eiwitten en nucleïnezuuren wisselen alle organismen voortdurend stikstof uit met hun omgeving. De afbraak van organische stikstofverbindingen komt echter goeddeels voor rekening van allerlei micro-organismen, terwijl uitsluitend bacteriën de schakels in de kringloop uitvoeren waarbij anorganische stikstofverbindingen zijn betrokken (binding van stikstofgas, nitrificatie en denitrificatie). Inzicht in de verschillende stikstofomzet-



2

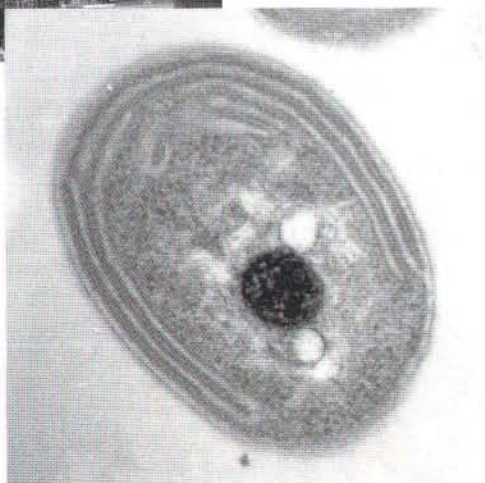




1. De vorm waarin stikstof in een ecosysteem voorkomt is afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid energie in organische koolstofverbindingen. In de afbeelding zijn de belangrijkste stikstofomzettingen weergegeven.

2. In een ammoniakfabriek wordt bij 450°C en 235 atm ammonium geproduceerd door binding van luchtstikstof. Bacteriën verrichten deze met hoge energiekosten gepaard gaande reductie bij kamertemperatuur en normale druk.

3. *Nitrobacter winogradskyi* is een bacterie die natriet tot nitraat oxydeert. Kenmerkend zijn de dikke membraanstructuren, waarin deze oxydatie zich afspeelt.



3

tingen kan daarom verkregen worden door deze bij de betrokken organismen te bestuderen.

Veel kennis over de stikstofkringloop is de afgelopen eeuw in het landbouwkundig onderzoek verzameld. Meer recent – vooral als uitvloeisel van de milieuproblematiek – is de vraag naar kennis over het verloop van de stikstofkringloop in natuurterreinen en in het oppervlaktewater echter sterk toegenomen. Hieronder zullen de verschillende stappen van de cyclus en de organismen die erbij betrokken zijn, meer in detail worden besproken. Nitrificatie en denitrificatie in de bodem krijgen daarbij speciale aandacht, in verband met de milieuproblemen die het gevolg zijn van een hoge stikstoftoevoer vanuit de atmosfeer.

Stikstofbinding

Bij het stikstofbindingsproces reduceren bacteriën stikstofgas eerst tot ammoniak en bouwen die vervolgens in aminozuren en dergelijke in. Dat deze organismen hiertoe bij kamertemperatuur en een druk van één atmosfeer in staat zijn, moet een fenomenale prestatie worden geacht, als men bedenkt dat in de chemische industrie deze reductie bij 450°C en een druk van 235 atmosfeer wordt uitgevoerd.

Een groot aantal bacteriesoorten is in staat stikstofgas te binden. Deels zijn dit vrijlevende bacterie-soorten, die in het water, in de bodem of in de rhizosfeer – de directe omgeving van de plantewortel – leven. De hoeveelheid stikstof die deze organismen onder natuurlijke omstandigheden binden, gaat zelden de tien kilogram per hectare per jaar te boven.

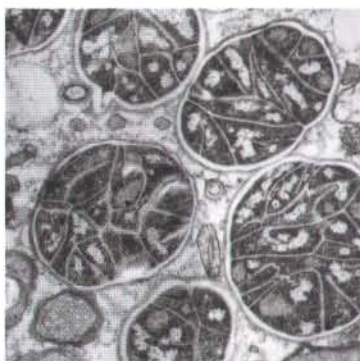
Veel efficiënter zijn de systemen waarbij bacteriën die in symbiose met een plant leven stikstof binden. Zulke systemen komen voor in de wortelknolletjes van vlinderbloemigen, waar in symbiose met bacteriën uit het geslacht *Rhizobium* stikstofbinding plaatsvindt. Veel boomsoorten bezitten eveneens stikstofbindende wortelknollen, waarin de symbionten bacteriën uit het geslacht *Frankia* zijn. In Nederland komt deze symbiose voor bij els, duindoorn en gagel. De symbiose van *Azolla*-soorten (kroosvarens) met cyanobacteriën vormt een ander systeem. Deze symbiose die in natte rijstvelden voorkomt, levert een belangrijke bijdrage aan de stikstofvoeding van het gewas.

De hoeveelheden stikstof die de *Rhizobium*- en *Frankia*-symbioses binden, kunnen aan-

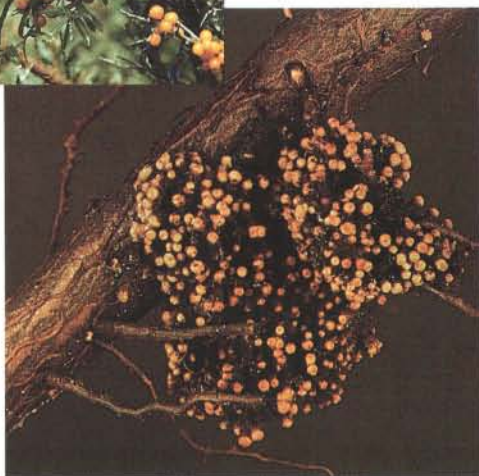


4

4, 5 en 6. De Duindoorn is een pioniersoort uit de buitenduinen, die in staat is stikstof te binden met behulp van wortelknollen (6) waarin zich *Frankia* bevindt. Bij een vergroting van ongeveer 3000x zijn in een wortelknolcel de blaasjes (donker) zichtbaar waarin de stikstofbindingsactiviteit plaatsvindt.



5



6

zienlijk zijn en oplopen tot honderden kilogrammen per hectare per jaar. Het is daarom niet verwonderlijk dat men met behulp van molekulaire-biologische technieken gewassen zoals granen van stikstofbindende wortelknollen tracht te voorzien. Omdat hiervoor niet alleen bij de bacterie maar ook bij de plant belangrijke aanpassingen noodzakelijk zijn, ligt de introductie van stikstofbindende tarwerassen voorlopig nog ver achter de horizon.

Het overmatig gebruik van stikstofmeststoffen veroorzaakt milieuproblemen, en de productie van de mest vergt veel energie. Daarom is het wenselijk dat de komende jaren nog veel onderzoek gericht wordt op het gebruik van stikstofbindende bacteriën voor de voeding van landbouwgewassen.



7

Mineralisatie en immobilisatie

Afbraak van organische stikstofverbindingen

In terrestrische ecosystemen komt het overgrote deel van de door organismen opgebouwde stikstofverbindingen uiteindelijk ter beschikking van de decomposers in de bodem. De dode organische stof wordt hierbij op uitgebreide schaal herverdeeld tussen allerlei bodemorganismen. Voor wat de stikstofomzettingen betreft, spelen bacteriën en schimmels de belangrijkste rol. De decomposers zetten een groot deel van de organische stikstofverbindingen om in ammonium. Er ontstaan tijdens het afbraakproces ook resistente verbindingen, die deel gaan uitmaken van de humus.

Stikstofturnover

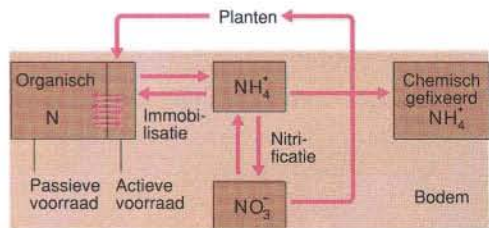
In iedere bodem vindt dus steeds opbouw en afbraak, ofwel immobilisatie en mineralisatie, van organische stikstofverbindingen plaats (afb. 8). Dit voortdurende proces, dat stikstofturnover heet, heeft afhankelijk van de gebruikwijze een voor ieder bodemtype kenmerkende omvang. Als gevolg van ingrepen in de bodem, zoals het mengen van de grond (ploegen), pH-veranderingen (bekalken) en indrogen en opnieuw bevochtigen, wordt het evenwicht tussen immobilisatie en mineralisatie verstoord: de afbraak overtreft de opbouw.

De beschikbare hoeveelheid koolstof in organische verbindingen bepaalt het netto-effect van mineralisatie en immobilisatie. Hierbij

bestaat er een belangrijk verschil tussen aërobe en anaërobe systemen. In aërobe (zuurstofrijke) bodems wordt bij een C/N-verhouding groter dan twintig stikstof vastgelegd, terwijl bij een lagere C/N-verhouding netto ammoniumvorming optreedt. Doordat de C/N-verhouding van veel plantaardig materiaal ongeveer dertig is, komt bij de afbraak ervan aanvankelijk geen anorganische stikstof vrij. Bij een continue aanvoer van dode wortels, zoals in (onbemeste) graslanden, vindt dan ook een voortdurende ophoping van organische stikstofverbindingen plaats en is geen anorganische stikstof aan te tonen.

In anaërobe (zuurstofloze) bodems wordt de organische stof niet verbrand maar vergist, waardoor minder energie voor de synthese van celmateriaal beschikbaar is en minder stikstof wordt vastgelegd. Hierdoor vindt in anaërobe (water)bodems al stikstofmineralisatie plaats bij een C/N-verhouding kleiner dan zestig. Als gevolg hiervan komt bij de afbraak van plantaardig materiaal direct ammonium vrij, als er tenminste geen veenvorming plaatsvindt. Hierdoor hoopt zich in waterbodems gemakkelijk ammonium op. Zo bleek na het droogmaken van de IJsselmeerpolders, dat er in de ondergrond een grote hoeveelheid ammonium aanwezig was, die het ingezaaide riet van een optimale stikstofvoeding voorzag.

Ook al vindt er in bodems met een hoge C/N-verhouding netto geen mineralisatie plaats, toch wordt daar wel ammonium ge-



8

7. Een onbemest grasland is rijk aan allerlei bloeiende kruiden. Bij een te hoog niveau aan voedingsstoffen krijgen enkele grassen de overhand en ontstaat een monotone grasmat.

8. Het ammonium heeft een centrale plaats in de stikstofturnover in de bodem. Er is een continue competitie om ammonium tussen immobilisatie, nitrificatie en planten, terwijl ook een deel chemisch in kleideeltjes wordt gebonden.



9

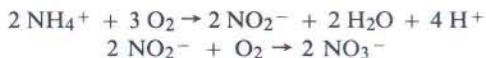
9. Deze protozo is één van de vele organismen die in de bodem bijdragen aan de vorming van anorganische stikstof.

vormd. Deze wordt echter direct weer vastgelegd. Plantewortels concurreren met de stikstofimmobiliserende micro-organismen om het vrijgekomen ammonium (afb. 8). Zij zijn — ook al is er geen vrije ammonium aantoonbaar — toch altijd in staat een zekere hoeveelheid stikstof uit de bodem op te nemen. In een weiland waar geen anorganische stikstof aanwezig is, groeit het gras dus toch.

Er zijn meer kapers op de kust voor het ammonium, namelijk de nitrificerende bacteriën. Die komen echter pas aan bod als er van netto-mineralisatie sprake is; zij nemen in de concurrentiestrijd met de immobiliseerders en plantewortels een zwakke positie in.

Nitrificatie

De omzetting van ammonium in nitraat, het nitrificatieproces, treedt op als er onvoldoende organische verbindingen voorhanden zijn om stikstof in gebonden toestand te houden, dat wil zeggen als er netto mineralisatie plaatsvindt. Nitraat is dus de 'sink' waarin de overmaat stikstof terecht komt. Het proces wordt hoofdzakelijk uitgevoerd door bacteriën, die uit ammonium in twee stappen nitraat vormen:



Tijdens de eerste stap, de ammoniumoxydatie, vindt een sterke zuurvorming plaats, zodat door het nitrificatieproces de pH van de bodem daalt. De twee stappen worden door verschillende organismen uitgevoerd, zodat nitriet als tussenproduct vrijkomt.

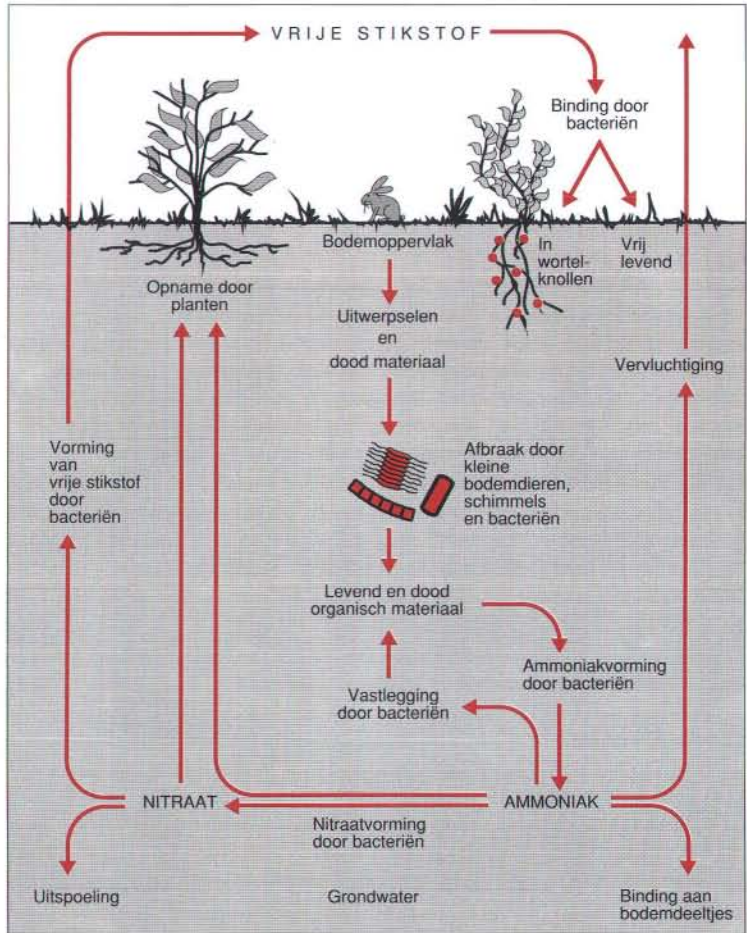
De organismen, die de ammoniumoxydatie uitvoeren, behoren tot de obligaat chemolithotrofe bacteriën. Dergelijke bacteriën zijn niet in staat op organische koolstofverbindingen — dus heterotroof — te groeien, maar gebruiken de energie die vrijkomt bij de oxydatie van een anorganische stof, in dit geval ammonium, voor het uitvoeren van een koolzuur-assimilatie via de Calvincyclus. Deze vindt op dezelfde wijze plaats als bij de hogere plant.

Lange tijd veronderstelde men dat de nitriet-oxyderende bacteriën eveneens een obligaat chemolithotrofe levenswijze hadden, maar de laatste tijd is duidelijk geworden dat op zijn minst een aantal soorten in meer of mindere mate heterotroof kan leven. Dit kan verklaren waarom de nitriet-oxydeerders in de grond vaak talrijker zijn dan de ammonium-oxydeerders, ondanks het feit dat bij de oxydatie van nitriet minder energie vrijkomt dan bij die van ammonium.

Naast bovengenoemde chemolithotrofe bacteriesoorten kunnen sommige soorten heterotrofen, voornamelijk schimmels, uit organische stikstofverbindingen geringe hoeveelheden nitraat vormen. Deze heterotrofe nitrificerders zouden vooral in zure bodems van be-



10



11

10. Via de analyse van bodemonsters worden de hoeveelheden bepaald, waarin diverse stikstofverbindingen voorkomen. Dergelijke gegevens geven inzicht in de stikstofbeschikbaarheid voor planten en zijn nodig voor het opstellen van stikstofbalansen.

11. De stikstofkringloop komt tot stand door een ingewikkeld samenspel van talloze organismen en chemische omzettingen. In deze afbeelding is de kringloop vereenvoudigd weergegeven.

lang zijn, omdat de chemolithotrofe bacteriën bij een lage pH niet actief zouden zijn. Onlangs bleek dat bepaalde aërobe denitrificatoren ook tot heterotrofe nitrificatie in staat zijn. Het is echter niet duidelijk in hoeverre dergelijke organismen daadwerkelijk bij het nitrificatieproces in de bodem betrokken zijn.

Het nitrificatieproces is in principe een strikt aëroob proces. Bij een lage zuurstofspanning in de bodem vormen de ammonium-oxydeerders niet alleen nitriet, maar ook NO en N₂O. Het is dus niet zo dat gasvormige stikstofverbindingen uitsluitend tijdens het denitrificatieproces ontstaan. Uit recent Zweeds onderzoek bleek, dat de in bouwland optredende stikstofverliezen voor twintig procent voor rekening van het nitrificatieproces komen. Ook is on-

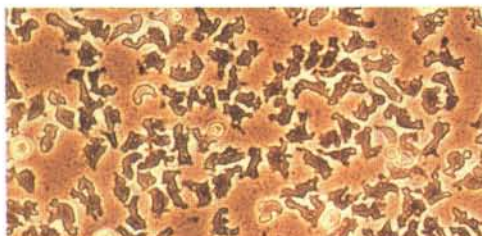
langs gevonden dat sommige chemolithotrofe, nitritoxyderende bacteriën in staat zijn onder anaërobe omstandigheden heterotroof te groeien met nitraat in plaats van zuurstof als elektronenacceptor. Het zijn dan denitrificatoren. Het goed geordende beeld dat wij van het nitrificatie-proces meenden te hebben, is de laatste jaren aardig op de tocht komen te staan. Het is met name onduidelijk in hoeverre nitrificatoren of denitrificatoren zorgdragen voor bepaalde stikstofomzettingen in de grond.

Milieuproblemen

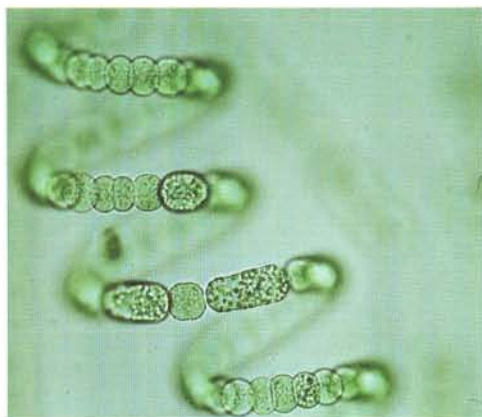
Ons inzicht in het nitrificatieproces is nog zeer fragmentarisch. Dat komt met name doordat de betrokken micro-organismen zo moeilijk te

12 en 13. Deze amoeben (12) eten bacteriën en stimuleren zo de afbraak van organische stikstofverbindingen. In het blauwwier *Anabaena* vindt in de grote cellen nitrificatie plaats. Zuurstof schaadt dit proces, dat dus niet plaatsvindt in de cellen, waarin zuurstof wordt gevormd.

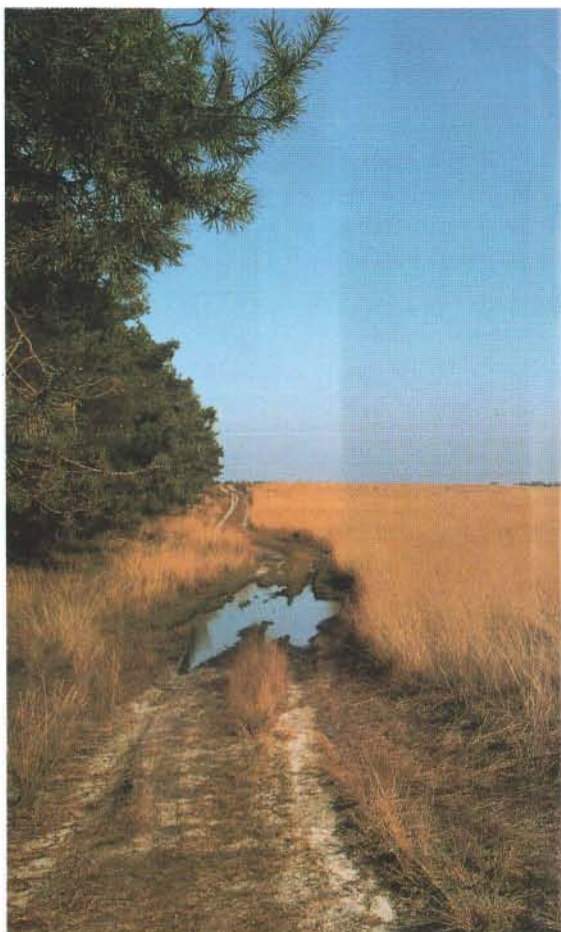
14. Grassen die zich in heidevelden vestigen kunnen de stikstof die met de regen neerkomt beter benutten dan heide. Doordat het dode materiaal van de grassen sneller wordt gemineraliseerd dan dat van heide, is vergrassing een zichzelf versterkend proces.



12



13



14

Stikstofverwijdering met behulp van planten

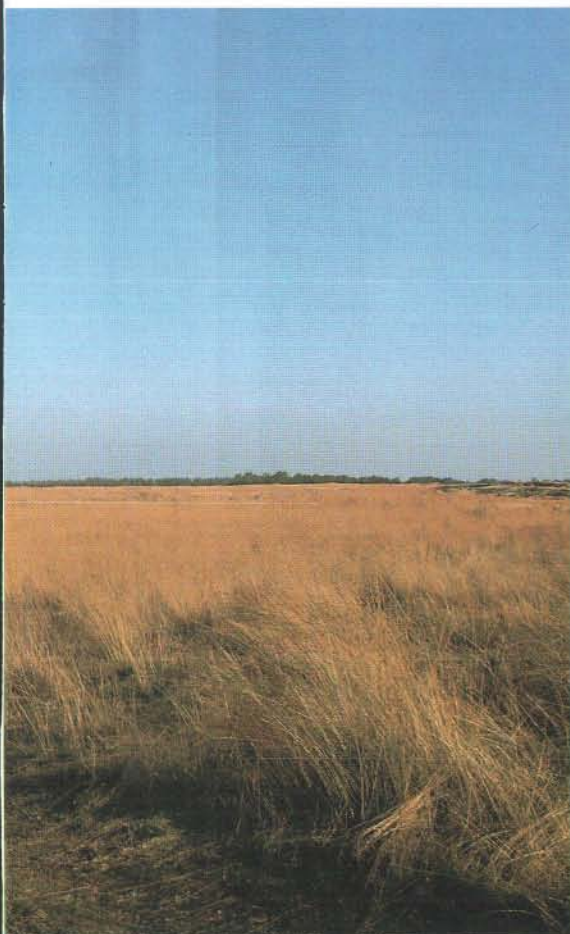
De ondergrondse productie van planten in de vorm van afgestorven wortels en wortelstokken kan gemakkelijk oplopen tot boven vier ton droge stof per hectare per jaar. Met een dergelijke hoeveelheid organische stof kan zo'n twee ton NO_3 -stikstof tot stikstofgas worden gedenitrificeerd. Dit is het tienvoudige van wat via het oogsten van de bovengrondse delen verwijderd kan worden. De laatste jaren bestaat er dan ook een stijgende belangstelling voor het verwijderen van nitraat in zogenaamde helofytenfilters. Dit zijn ondergelopen terreinen, waarop

oeverplanten (riet, lisdodde, biezen) afvalwater of verontreinigd grond- en oppervlaktewater zuiveren van stikstof, fosfaat en andere verontreinigingen. Helofytenfilters lijken vooral geschikt voor de zuivering van niet al te sterk verontreinigd oppervlaktewater. Dergelijke filters denitrificeren niet alleen het nitraat; het riet brengt via luchtkanalen in de wortels ook zuurstof in de bodem, zodat ammonium via het nitrificatieproces in nitraat kan worden omgezet. Dat wordt vervolgens elders in het filter gedenitrificeerd. Het mes snijdt dus aan twee kanten.

I-1. In een helofytenfilter wordt nitraat via een aantal tussenproducten omgezet in stikstofgas, dat geen milieuschade aanricht.



I-1



INTERMEZZO



I-2

I-2. De afgestorven wortelstokken van riet brengen veel organische stof in de grond, die gebruikt kan worden voor denitrificatie van nitraat. De soort wordt dan ook in helofytenfilters gebruikt voor de zuivering van oppervlaktewater. Hier verlaat het gezuiverde water zo'n filter.

isoleren zijn en we over hun aantalsveranderingen en activiteit onder de heersende bodemomstandigheden zo weinig weten. Dit gebrek aan kennis klempt des te meer, nu in Nederland gemiddeld zo'n twintig kilogram stikstof per hectare per jaar in de vorm van ammonium wordt aangevoerd. In sommige delen van het land komen uitschieters van boven de vijftig kilogram stikstof voor. Dit is samen met de depositie van twintig kilogram NO_x -stikstof aanzienlijk meer dan de meeste ecosystemen kunnen verwerken. Op landbouwgronden komt deze hoeveelheid boven op de reeds toereikende kunstmestgift. In natuurterreinen met kruidachtige vegetatie – waar in de planten de totale hoeveelheid stikstof niet stijgt – overtreft de depositie de opslagcapaciteit van de organische stof in de bodem, evenals in bossen en heiden op de arme zandgronden, waar de stikstofaanwas slechts twintig respectievelijk tien kilogram stikstof per hectare per jaar is.

Het gedeelte van de ammonium-depositie dat het ecosysteem niet kan verwerken, wordt omgezet in nitraat, zoals hierboven uitgebreid is besproken. Tijdens de nitrificatie van het ammoniumsurplus treedt een sterke verzuring op, terwijl het gevormde nitraat naar het grondwater uitspoelt. Dit grondwater vormt een belangrijke bron van drinkwater. Bij nitraatconcentraties hoger dan vijftig milligram per liter is het hiervoor niet meer geschikt. Bij het Nederlandse neerslagoverschot wordt deze hoeveelheid bereikt bij een jaarlijks nitraatsurplus van 35 kilogram stikstof per hectare. Op veel plaatsen bestaat thans een groter overschot. Verzuring en nitraatuitspoeling als gevolg van nitrificatie vormen vooral op de kalkarme, slecht gebufferde zandgronden in het oosten van ons land een probleem.

Nitraatreductie

Assimilatie van nitraat

Op plaatsen waar voldoende energie aanwezig is, kan het in het nitrificatieproces gevormde nitraat opnieuw in organische verbindingen worden vastgelegd. De vorming van organische verbindingen uit anorganische staat bekend als assimilatie. Hogere planten kunnen het nitraat opnemen en het met behulp van het enzym nitraatreductase assimileren.

Ook micro-organismen kunnen nitraat als stikstofbron gebruiken. In reïncultures blok-

keert de gelijktijdige aanwezigheid van ammonium de enzymatische nitraatreductie. Er vindt dan geen assimilatie van nitraat plaats voordat alle ammonium is ingebouwd. Dit principe lijkt ook in de grond op te gaan, hoewel de bodem zo heterogeen is, dat er altijd in meer of mindere mate nitraatassimilatie plaatsvindt. Maar doordat nitraatassimilatie door micro-organismen (niet die door planten) dus alleen optreedt als er geen ammonium beschikbaar is en deze verbinding voor nitrificatie juist nodig is, kunnen nitrificatie en nitraatreductie in principe niet gelijktijdig op dezelfde plek plaatsvinden.

Dissimilatie en denitrificatie

Behalve in assimilatieprocessen kan nitraat ook in dissimilatie- ofwel afbraakprocessen gereduceerd worden, waarbij de gassen N_2 en N_2O ontstaan, en in sommige gevallen ook sporen koolstofmono-oxyde en ammonium. Met de vorming van stikstofgas, het voornaamste denitrificatieprodukt, is de stikstofkringloop gesloten. Het ontstaan van N_2O (lachgas) en NO is ongewenst omdat het eerste gas bijdraagt aan het broeikas effect en het tweede de ozonlaag aantast.

In de dissimilatorische reductie neemt nitraat de functie van zuurstof over als elektronenacceptor bij de oxydatie van koolstofverbindingen. Het denitrificatieproces is daarom gebonden aan anaërobe omstandigheden, hoewel er in wetenschappelijke tijdschriften steeds claims opduiken dat in de bodem ook denitrificatie onder aërobe omstandigheden optreedt. Weliswaar zijn er reïncultures van denitrificerende bekend, die ook bij aanwezigheid van zuurstof nitraat tot gasvormige verbindingen reduceren, maar er is nooit aangetoond dat deze soorten daadwerkelijk bij de denitrificatie in de bodem betrokken zijn. Denitrificatie in schijnbaar aërobe bodems is dan ook eerder te wijten aan de heterogene verdeling van vocht en zuurstof. Door de heterogene verdeling van zuurstof kunnen nitrificatie en denitrificatie vaak gelijktijdig in één bodem optreden.

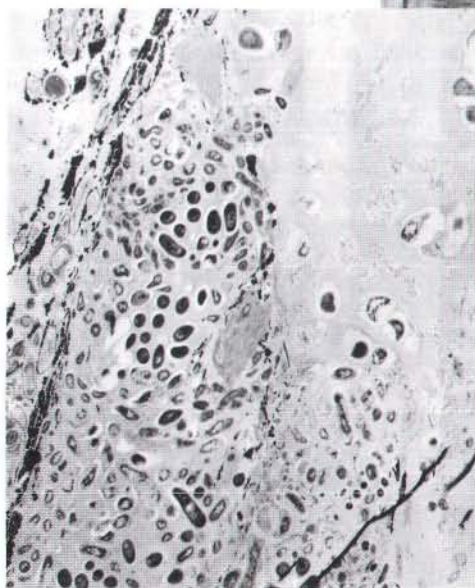
Het onderzoek naar het denitrificatieproces heeft zich in het verleden vooral gericht op de landbouw, met de bedoeling zo weinig mogelijk van de aan het gewas gegeven meststof verloren te laten gaan. Thans is men het nitraat vaak liever kwijt dan rijk en is juist het optimaliseren van de denitrificatie aan de orde,

bijvoorbeeld bij de stikstofverwijdering in afvalwater-zuiveringsinstallaties.

Nitraatoverschot

De stikstofbalans van Nederland blijkt een steeds groter overschot te vertonen. Dat komt door de import van grote hoeveelheden veevoer, het gestegen gebruik van stikstofmeststoffen, de vorming van stikstofoxyden door verkeer en elektriciteitscentrales en door de aanvoer van nitraat door de Rijn. Het overschot heeft al tot allerlei problemen geleid. Mede door atmosferische stikstofdepositie is de flora van Nederland sterk verarmd. In deze eeuw zijn er van de 1300 soorten hogere planten 100 verdwenen.

15 en 16. De aantasting van natuursteen wordt voornamelijk veroorzaakt door de sterke zuurvorming die optreedt door nitrificatie van ammonium uit de lucht. Vooral zandige kalksteen wordt als het ware van binnenuit opgelost, zoals aan deze heilige op de dom van Keulen goed te zien is. Het slijpplaatje toont een kolonie nitrificerende bacteriën die in de steen is aangetroffen.



16



15

nen en 800 zeldzaam geworden. De heiden zijn vergrast en de bossen zijn in slechte conditie. Het grondwater is met nitraat verontreinigd. Onze cultuurmonumenten zijn aangetast.

Deze nadelige effecten treden op tijdens de verschillende omzettingen van stikstofverbindingen tot nitraat, de 'sink' waarin de overmaat uiteindelijk terecht komt. Landelijk gezien kan men dit proces niet tegengaan, hoogstens vertragen of minder zichtbaar maken door herverdeling van de stikstof. Ook kan men maatregelen treffen om te voorkomen dat anorganisch gebonden stikstof (NH_3 , NO_x) een omweg ('bypass') via de atmosfeer

neemt. Welke maatregelen men ook treft, indien de invoer van stikstof de uitvoer overtreft, vindt het overschot zijn weg naar nitraat.

Waar blijft het overschot aan nitraat? Ten dele zal het uitspoelen en het diepere grondwater blijvend verontreinigen. Dit is op den duur een groot gevaar voor de drinkwatervoorziening op de hogere gronden van ons land. Een aanzienlijk deel van het nitraat zal echter in het oppervlaktewater terecht komen. Reeds in 1971 berekenden wij dat dit tot een concentratie van zestig milligram stikstof per liter zou leiden, terwijl de werkelijke concentratie zelden hoger was dan één milligram per liter. We veronderstelden daarom dat in de bodem van onze ondiepe sloten en meren op zeer grote schaal denitrificatie plaatsvindt. In later onderzoek werd dit bevestigd.

Naar onze mening worden de mogelijkheden om op natuurlijke wijze van het overschot aan stikstof af te komen nog onvoldoende benut. Dat kan door gebruik te maken van groene planten. De koolstofverbindingen die dankzij de fotosynthese ontstaan kunnen dienen als elektronendonor in het denitrificatieproces. Dergelijke mogelijkheden zijn er niet alleen op landschapsniveau maar ook op het niveau van het afzonderlijke landbouwbedrijf en natuurterrein. Hiervoor is wel een ander landgebruik noodzakelijk, bijvoorbeeld het gebruik van marginale landbouwgronden. Op korte termijn bestaat er echter op allerlei niveaus, van dat van het landschap tot aan dat van het organisme, een behoefte aan gericht onderzoek naar de verschillende schakels in de stikstofkringloop.

Bronvermelding illustraties

Jan van de Kam, Griensdveen: 400-401
 DSM, Heerlen: 2
 G. Rijs, Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, Lelystad: 1-2
 Prof dr A. Zehnder, Landbouwniversiteit Wageningen: 13
 Prof dr Wolff, Keulen: 15
 Prof dr E. Bock, Universität Hamburg: 16
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteurs en medewerkers van het Instituut voor Oecologisch Onderzoek, met dank aan G. Both (3), W. Verholt (4, 7, 10 en 14), C. van Dijk (5 en 6) en F. Verhagen (9).



Volgens de signatuur zou Bart van der Leek, een tijdgenoot van Mondriaan, dit schilderij in 1922 hebben vervaardigd. Onderzoekers van het Gerechtelijk Laboratorium ontdekten in de verf laag acrylvezels. Deze kunstvezel kwam pas in de jaren vijftig op de markt. De vermoedens van kunsthistorici naar aanleiding van de schilderij klopten: de prent is een vervalsing.

E.R. Groeneveld
*Gerechtelijk Laboratorium
Rijswijk*

Misdaad- analyse

Het oplossend vermogen
van de
natuurwetenschappen

'22
BvDL

Al kan iemand zeggen een ander te hebben verwond met een mes, toch biedt zo'n bekentenis onvoldoende grond om deze persoon te veroordelen. Er is meer nodig om te bewijzen dat een verdachte de snode daad beging. De gehele puzzel van feitjes en verklaringen, aangedragen door getuigen, verdachten of slachtoffers,

moet passen, wil de rechter een rechtvaardig en rechtsgeldig oordeel vellen. Bij veel misdrijven nemen wetenschappers plaats in de getuigenbank. Zij hebben allerlei sporen geanalyseerd, die de toedracht helpen achterhalen. Zo legt bloed- en vezelonderzoek aan het lemmet van het mes de relatie mes-slachtoffer en een onderzoek van vingerafdrukken op het heft de relatie mes-verdachte.

Een goede strafrechtspleging vergt veel voorbereidend werk, dat de politie voor het merendeel verricht. Het specialistische onderzoek naar bijvoorbeeld bloed en vingersporen, die de stille getuigen van een steekpartij kunnen zijn, behoort tot het vakgebied van de criminalistiek. Wetenschappers helpen de uitkomst van een dergelijk onderzoek in te passen in het totaal van het gebeuren rond een misdrijf. Ook dragen zulke 'criminalisten' eraan bij om problemen op te lossen die zich kunnen voordoen bij een steekpartij als uit ons voorbeeld. Heeft de verdachte het mes weggegooid en een getuige dit later opgeraapt, dan kunnen de oorspronkelijke, relatieleggende vingerafdrukken verloren zijn gegaan. Een speciaal onderzoek, gericht op zogenaamde microsporen, zou dan nog uitkomst kunnen bieden. Voordat dit specialistische onderzoek nadere aandacht krijgt, komen eerst kort de van oudsher en nu nog meest gangbare methoden aan de orde waarmee de toedracht van een misdrijf wordt gereconstrueerd.

Speuren naar geuren, kleuren en klanken

Met betrekking tot de criminalistiek is het waarnemen met het oog van groot belang als men bijvoorbeeld denkt aan het maken van een foto of een schets van de plaats van het delict: De prent bevat slechts een tweedimensionale afspiegeling van een aangetroffen, driedimensionale situatie die de neerslag is van een dynamisch proces, waaraan nu de dimensie tijd ontbreekt. Uit het plaatje probeert een rechercheur, in eerste instantie afgaande op zijn of haar ogen, te begrijpen wat er is gebeurd.

Onze oren spelen eveneens een rol. Denk maar aan het herkennen van stemmen. Velen luisterden tijdens de ontvoeringszaak Heijn naar de stem van één van de mogelijke ontvoerders en trachtten de via de televisie uitgezonden bandopname te herkennen. Ook het reukvermogen werkt mee bij het onderzoek. Alcohol- en benzinedampen kunnen goed worden herkend en vormen soms de aanzet van een strafrechtelijke vervolging. Bij verkeerscontroles op rijden onder invloed kan een alcoholadem de automobilist verraden en tot een blaas- of bloedproef veroordelen.

Daarnaast maakt de politie gebruik van speurhonden. Een hond kan namelijk bepaalde soorten molekulen een miljoen keer beter



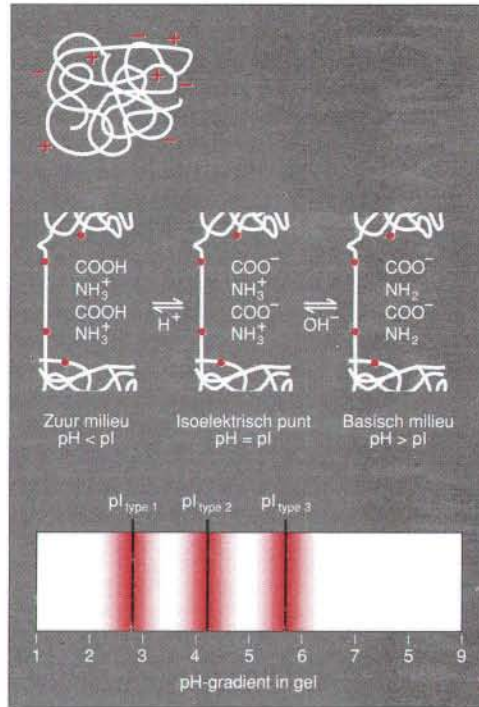
1

ruiken dan een mens. Zo helpen in ons land honden bij het opsporen van verdovende middelen en bij het zoeken naar springstoffen; ze kunnen geursporen volgen en geuren vergelijken. Aldus komt politiemensen het fantastische reukvermogen van honden goed van pas, maar op welke molekuulsoorten of combinaties daarvan de neus van deze dieren nu precies reageert, weten we nog niet.

Menselijke en dierlijke zintuigen verschaffen criminalisten bij het opsporen en bewijzen van misdrijven op een directe wijze al veel informatie. Tegenwoordig vormen moderne natuurwetenschappelijke technieken een onontbeerlijke aanvulling daarop. De laatste vijf jaren is wat dat betreft spectaculaire vooruitgang geboekt.

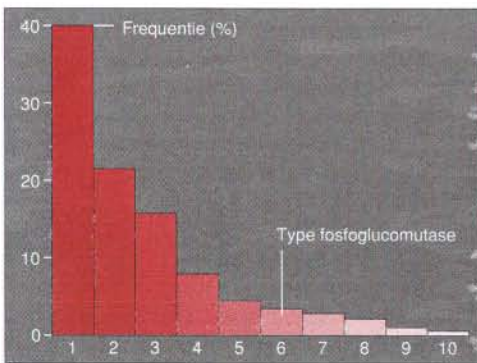
Biologische sporen

De vraag 'Is dit bloed?' kan soms in een oogopslag een antwoord krijgen. Letterlijk van kindsbeen af kennen wij bloed dankzij de vele tot bloedens toe gevallen knieën. Over de vraag of een rode vlek uit mensenbloed be-



2

1. Op woensdag 13 april 1988 zocht de politie in het IJ naar de personenauto waarmee Gerrit-Jan Heijn was ontvoerd. Behalve een ondersteuning van de bekentenis van de verdachte, zou de vondst nieuwe aanwijzingen kunnen opleveren, die de reconstructie van het misdrijf zouden vervolmaken.



3

2 en 3. Binnen de Nederlandse, blanke bevolking laten zich tien typen van het enzym fosfoglucomutase onderscheiden. Ze komen niet allemaal even vaak voor (3). Elk type bezit een kenmerkend isoelektrisch punt pI , de zuurgraad waarbij het enzym neutraal is (2). Bij een lage pH binden alle basische groepen zoals NH_2 en COO^- een proton. Wordt de omgeving minder zuur

— de pH stijgt — dan verliezen deze groepen meer en meer hun protonen aan een sterke base, bijvoorbeeld OH^- . De verschillende fosfoglucomutasetypen zullen in een pH-gradiënt elk een andere afstand afleggen wanneer een elektrisch veld wordt aangelegd. De beweging houdt immers op zodra de molekulen neutraal worden en dat gebeurt bij de pI .

staat, geeft één blik echter geen uitsluitsel, terwijl ook de bijzondere kenmerken van dat eventuele mensenbloed, namelijk of het van een bepaald slachtoffer afkomt, pas met speciale methoden kunnen worden opgehelderd. Tot zulke kenmerken behoren bloedgroepen en de aanwezigheid van bepaalde enzymen. Daarbij geldt dat hoe zeldzamer het bloed is, hoe meer bewijskracht een rechter aan een dergelijk bloedspoor zal toekennen.

Afbeelding 3 toont bijvoorbeeld het voorkomen binnen de Nederlandse bevolking van het *polymorfe* enzym fosfoglucomutase. Van dit enzym uit rode bloedcellen bestaan verschillende vormen, variërend van algemeen tot zeer zeldzaam, die zich laten onderscheiden op grond van hun iso-elektrisch punt. Dat wil zeggen dat iedere vorm van fosfoglucomutase zich kenmerkt door de zuurgraad (pH) waarbij het neutraal geladen is. Dit bepaalt men in het laboratorium aan de hand van de afstand die de enzymen in een pH-gradiënt afleggen. Elke vorm verschilt daarin van een andere. Van zelfs zeer kleine hoeveelheden opgedroogd bloed kan men zo uiterst betrouwbaar vaststel-

len welk type fosfoglucomutase daarin voorkomt.

Naast fosfoglucomutase zijn er andere biologische kenmerken, als ABO-bloedgroep of rhesusfactor, die zich in verschillende vormen voordoen. Zulke polymorfismen erven meestal onafhankelijk van elkaar over van ouder op kind. Daarom mogen de frequenties waarmee deze veelvormige kenmerken in een populatie voorkomen, met elkaar worden vermenigvuldigd. Tabel 1 toont het resultaat van een onderzoek waarbij het bloed van een persoon op veertien kenmerken is geanalyseerd. Dit bloed komt nog slechts voor bij twintig Nederlanders. Bij een juridisch onderzoek naar de toedracht van een steekpartij wijst zo'n analysesresultaat al snel naar één persoon en krijgt het de betekenis van een identificatie.

Genetische vingerafdrukken

Vanaf 1987 vindt een moderne molekulair-biologische techniek toepassing als identificatiemethode. Hierbij zoekt men naar polymorfismen in de drager van erfelijke eigenschappen, het DNA (desoxyribonucleïnezuur), dat in alle levende cellen voorkomt. Deze techniek, in 1985 door de Engelsman Jeffreys geïntroduceerd, biedt de mogelijkheid om uit te sluiten dat verdachte bloedsporen en spermaresten van een zeker persoon afkomstig zijn. De methode staat bekend als het maken van DNA-vingerafdrukken (DNA-fingerprinting) en berust erop dat in bepaalde delen van het DNA zeer veel mutaties kunnen plaatsvinden. Een DNA-keten bestaat uit vier typen bouwstenen, nucleotiden, die twee aan twee op elkaar passen, dat wil zeggen complementair zijn. Een mutatie houdt in dat enkele nucleotiden veranderen in andere of, bijvoorbeeld, wegvallen. Zulke veranderingen geven aanleiding tot grootteverschillen van DNA-fragmenten wanneer het DNA in stukjes wordt geknipt met zogenaamde restrictie-enzymen. Deze eiwitten herkennen karakteristieke nucleotidevolgorden in dubbelstrengs DNA en brengen daar een breuk in aan. Bij zo'n reactie kunnen circa één miljoen brokstukken ontstaan, die voor elk individu verschillen in lengte en aantal.

Men scheidt vervolgens deze DNA-fragmenten op lengte, maakt ze met behulp van natronloog enkelstrengs en verankert ze op een drager. Nu kunnen de DNA-gebieden waar

zich veel veranderingen voordoen, zichtbaar worden gemaakt. In die gebieden blijken namelijk steeds dezelfde, korte stukjes voor te komen met een karakteristieke nucleotidevolgorde. Hieraan kunnen kleine, radioactief en enkelstrengs gemaakte DNA-molekulen hechten, die aan deze stukjes complementair zijn. Alleen de DNA-fragmenten op de drager die zo'n radioactief molecuul, de *probe*, binden, geven een zwarting op een fotografische plaat. Daarop toont zich dan een patroon van zwarte streepjes die kunnen verschillen in de mate van zwarteheid en de onderlinge afstand. Zo'n streepjes- of bandjespatroon kenmerkt een individu.

In plaats van probes die veel voorkomende nucleotidevolgordes herkennen, zoals hierboven uitgelegd, worden dikwijls ook meer gevoelige probes toegepast. Zulke probes binden zich aan een nucleotidevolgorde die bijvoorbeeld maar één keer (homozygoot) of twee keer (heterozygoot) voorkomt in het gehele DNA. Door het geringe aantal banden dat zo'n probe zichtbaar maakt, kan men daarmee in één monster verschillende soorten menselijk



4. Het op gel brengen van de diverse bloedextracten waarin het enzym fosfoglucomutase zit, is een precisiewerk. In elk vakje komt een ander bloedmonster.

5. Bloedbevleete kleding kan dikwijls, afhankelijk van het misdrijf, nog vele andere sporen bevatten: geplette vezels, glasdeeltjes, loodfragmenten en snijratels.

TABEL 1 Analyse van bloed op 14 kenmerken

Kenmerk	Aantal vormen	Klasse	Frequentie (%)
ABO-Bloedgroep	4	0	48,7
Hoofdbloedgroep in uitscheidingsvocht (speeksel, sperma)	2	nee	23
Rhesusfactor	7	CéDéé	33,8
Immunoglobuline Gm	8	2afngb	15,9
Immunoglobuline Km	2	(1-3+)	82
Haptoglobuline	3	2-1	49
Fosfoglucomutase	10	1+2+	22
Erythrocytaire zure fosfatase	5	BC	5,9
Adenylaatkinaase	3	1	93
Adenosinedeaminase	3	1	90
Glyoalase	3	1	22
Gc-Factor	6	2-1S	31,3
Esterase D	4	1	78,4
Peptidase A	3	1	99,9
Totaal			$1,4 \cdot 10^{-6}$

Tabel 1. Het gezamenlijk voorkomen van deze 14 klassen in het bloed van een willekeurig persoon is zo zeldzaam, dat op de Nederlandse, blanke bevolking nog maar twintig van zulke mensen rondlopen. Omdat de kenmerken onafhankelijk overerven mag men de gevonden frequenties, waarmee elke klasse in de onderzochte populatie wordt aangetroffen, met elkaar vermenigvuldigen. De kans op zo'n totaal wordt dan $1,4 \cdot 10^{-6}$.



DNA duidelijk waarnemen. Vooral bij zeden-misdrijven blijkt dit een groot voordeel te zijn.

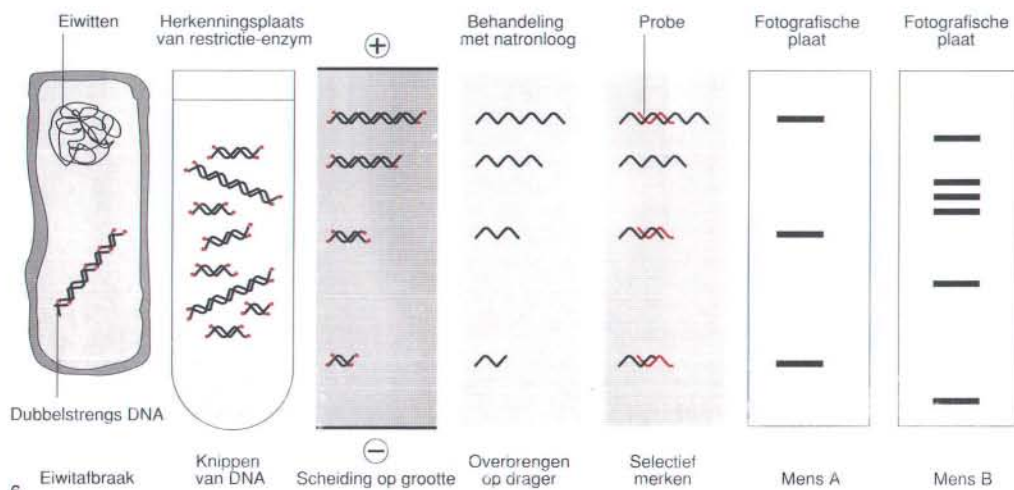
Hoezeer het gebruik van DNA-onderzoek bij het oplossen van schokkende misdrijven als verkrachtingen ook tot de verbeelding van het publiek spreekt, toch blijft het criminalistische gewicht van zo'n analyse beperkt. Immers, net als bij vingerafdrukken, wordt het misdrijf daar nog niet mee bewezen, hoogstens vormt het voor de rechter een sterke schakel in een bewijsketen. In geval van zedenmisdrijven kan een verdachte wel onomstotelijk laten aantonen, dat eventueel op het slachtoffer aange-troffen sperma niet van hem afkomstig is. Met de klassieke genetische kenmerken als hoofd-bloedgroep en type fosfoglucomutase was dat lang niet altijd mogelijk.

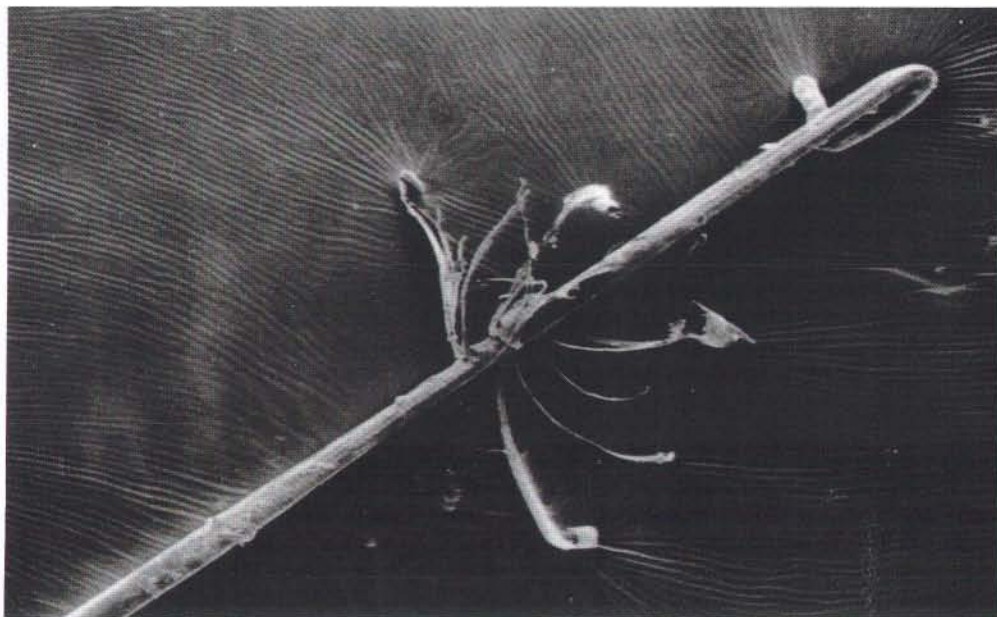
Haar

In tegenstelling tot vingerafdrukken, de ge-steldheid van een gebit en, zoals wij hiervoor zagen, bloed- en spermasporen, bevatten ha-ren geen geschikte kenmerken om iemand te kunnen identificeren. Aanvankelijk meende men dat wel. Ruim twintig jaar geleden stond de zeer gevoelige analysetechniek van de neu-tronen-activering sterk in de belangstelling van gerechtelijk onderzoekers. Toen dachten velen dat sporenelementen haarweefsel zo konden kenmerken, dat koppeling van één haar met één individu mogelijk moest zijn op grond van de soorten en hoeveelheden van de aangetrof-

fen elementen. Weldra bleek die zienswijze on-juist. Haar is namelijk een zeer bijzonder materiaal, dat gemakkelijk elementen kan uit-wisselen. Dat gebeurt niet alleen endogeen, dat wil zeggen met de rest van het lichaam, maar zeker ook exogeen, met de buitenwereld. Bo- vendien doorloopt elke haar op ons lichaam een eigen levenscyclus, wat een betrouwbare analyse extra bemoeilijkt. Toch bevat haar vaak belangrijke informatie die zeker bij cri-minalistisch onderzoek bruikbaar is. Zowel mens als dier verliezen veel haar, zodat dit als spoor frequent voorkomt en in elk geval goed dienst doet als vergelijkingsmateriaal. In eerste instantie let men dan op kenmerken als lengte, golving, kleur en doorsnede van een haar.

Gemiddeld verliezen wij per dag ongeveer honderd hoofdharen. Uitgevallen hoofdharen bezitten soms een min of meer specifieke con-centratie van bepaalde elementen, meestal van exogene oorsprong. De werk- of woonomge-ving of een specifieke haarbehandeling vorm-en bijvoorbeeld de bronnen van die elemen-ten. Zo troffen onderzoekers van het Gerech-telijk Laboratorium lood aan in vrijwel alle menselijke hoofdharen. Tussen sommige ha-ren varieerde de concentratie, maar bij andere niet. In een aantal van deze gevallen bleek zelfs de concentratie over de lengterichting van af-zonderlijke haren gelijkelijk te veranderen. Van telkens afgesneden, halve centimeterlange stukjes haar mat men de loodconcentratie. Dit maakte het mogelijk om haar van gelijke her-





7

komst, ofwel hetzelfde hoofd, te herkennen (afb. 7).

Haren die met de nog haarcelproducerende haarwortel uit de huid zijn getrokken, bezitten dikwijls nog levende cellen, hetzij in het worteldeel van de haar zelf, hetzij in aangrenzend, met de haar mee uitgetrokken weefsel. Het fosfoglucomutase-type kan men dan bepalen,

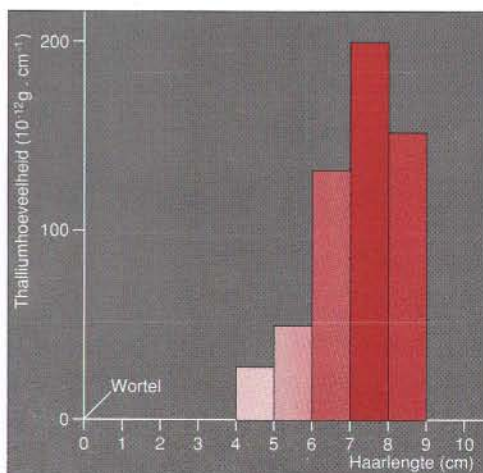
wat extra vergelijkingsmateriaal oplevert. Ook zou men een DNA-vingerafdruk kunnen nemen. In de literatuur komen deze mogelijkheden al ter sprake, maar men acht ze onvolledig betrouwbaar. Na een misdrijf dienen meestal uitgevallen haren, waarmee men de haren van een verdachte zou willen vergelijken, als spoor. Deze haren bevatten geen le-

6. Alvorens een DNA-vingerafdruk te maken, isoleert men DNA uit bloed of sperma en zuivert het. Restrictie-enzymen breken de dubbelstrengs DNA-molekulen op bepaalde plaatsen, waarna men de fragmenten op grootte scheidt. Dit gebeurt op een agarosegel waarover een elektrische spanning staat. De negatief geladen DNA-fragmen-

ten bewegen naar de anode. Na met natronloog de molekulen enkelstrengs te hebben gemaakt, laat men de DNA's aan een drager hechten. Een radioactief stukje enkelstrengs DNA, de probe, zorgt op een fotografische plaat voor een bandjespatroon. Afhankelijk van de specificiteit van de probe, is het verkregen patroon voor elk mens anders.

7 en 8. Dankzij de vorm kan een beschadigde haar als deze soms een aanwijzing betekenen (7). Anderszins kan men het tijdstip van een thalliumver-

giftiging achterhalen aan de hand van haren (8). De haargroei-snelheid en het verloop van de gifconcentratie in het haar laten dit toe.



8

vende cellen meer, dus ook geen DNA of functionele enzymen en kunnen daarom niet aan de hand hiervan worden gekenmerkt.

Wel kunnen uitgevallen haren informatie verschaffen bij sommige vergiftigingen. Een vergiftiging met thalliumverbindingen uit zich bijvoorbeeld in het verschijnsel, dat enige tijd na opname van het metaal — meestal na een aantal dagen — de hoofdharen van het slachtoffer beginnen uit te vallen. Kreeg iemand een niet-giftige hoeveelheid thallium binnen, dan zullen zijn haren evenwel in leven blijven. In dat geval werken die haren wel als exogene ionenwisselaar: ze nemen metaalionen op uit thalliumhoudende zweet. Afbeelding 8 geeft het verloop in thalliumconcentratie weer van een bundeltje hoofdharen die een slachtoffer van zo'n poging tot vergiftiging toebehoorden. Deze poging vond plaats vele maanden voordat het haarmonster werd genomen. Met het gegeven dat de haargroei snelheid ongeveer één centimeter per maand bedraagt kon de politie aan de hand van de thalliumhoudende haardelen achterhalen, wanneer het gif kon zijn toegevoerd.

Zelden levert de vorm van een haar aanwijzingen die criminalistisch van nut kunnen zijn. Soms toont het haaroppervlak sporen van een ziekte of een abnormale behandeling. Zo kan het buitenste, beschermende schilletje rond een haar, de cuticula, van de haarschacht zijn gestroopt. Met een elektronenmicroscop kunnen zulke beschadigingen goed worden waargenomen (afb. 7).

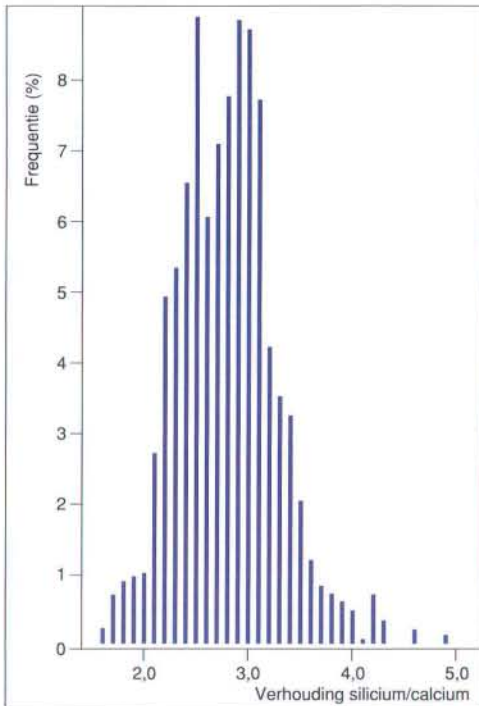
10 en 11. Om te achterhalen of een automobilist die een fietser van achteren aanreed, deze niet zou hebben gezien omdat zijn achterlicht niet brandde, bekijkt men het kapotte lampje met een elektronenmicroscop (10, 11). Wanneer men gesmolten glas op de gloeidraad aantreft, duidt dit op een warme draad en dus op een brandend licht ten tijde van de botsing.

Verraden door glas en verf

Zoals opgemerkt, kunnen we bloed relatief gemakkelijk herkennen. Wat het spoor evenwel vindbaar maakt is behalve de kleur ook het contrast met de ondergrond. Een bloedspat op een wit tennishirt springt in het oog in tegenstelling tot een spat op een rode, grofgebreide trui. Om die te ontdekken moet men langdurig en zeer systematisch zoeken met een loep. Soms kunnen simpele scheidingstechnieken enige uitkomst bieden om microsporen sneller te vinden. Verschaft een inbreker zich bijvoorbeeld toegang tot een huis door een ruit in te slaan, dan kunnen hele kleine glasscherfjes hem verraden. De kleding van de verdachte wordt eenvoudig uitgeklopt op een rooster van gaas. Het verzamelde stof bekijkt men daarna onder een loep. In dit stof laten glassplinters zich herkennen aan de scherpe kanten, hun helderheid en de schelpvormige breukvlakken.

Het materiaal glas kan goed bijdragen aan de bewijsvoering omdat het, net als een vloeistof, zeer homogeen is. Een splintertje glas van de ingeslagen ruit uit de kleding van de verdachte zal dezelfde fysische eigenschappen en chemische samenstelling bezitten als elk ter vergelijking aanwezig deel van de ingeslagen ruit. Bij het vergelijkend glasonderzoek bepaalt men bijvoorbeeld onder de microscoop de brekingsindex en met behulp van röntgenfluorescentie de chemische samenstelling. In glas komen elementen niet altijd in precies dezelfde verhouding voor. Onderzoek-





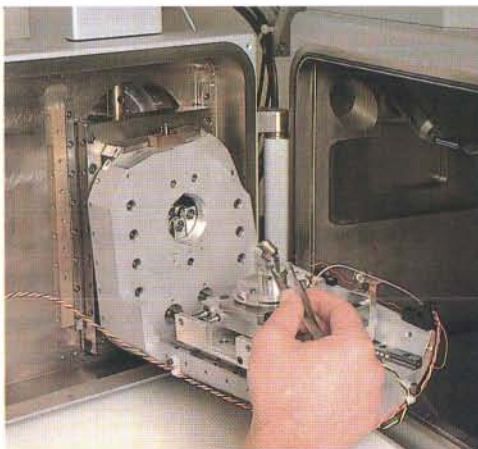
9

9. Deze frequentieverdeling van de verhouding tussen de elementen silicium en calcium verkreeg men na meting aan 1282 kleurloze glasmonsters die met misdrijven verband houden. Er zijn zo'n dertig klassen te onderscheiden.

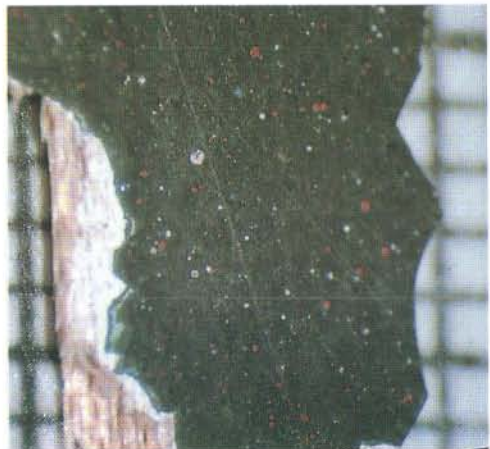
12. Dankzij de rode verfspatten bezit dit brokje donkergroene verf een grote bewijskracht, indien, zoals in dit geval, zo'n brokjes zowel op de plaats van inbraak als tussen de tanden van de zaag van de verdachte wordt aangetroffen.

kers van het Gerechtelijk Laboratorium slaan gewoonlijk per glasmonster een aantal elementverhoudingen op in de computer, zoals de verhouding tussen silicium en calcium en die tussen ijzer en calcium. Inmiddels hebben ze een groot gegevensbestand voor glas verkregen en van elk der kenmerken een frequentieverdeling kunnen opstellen (afb. 9). Blijkt een glasmonster uit een kledingstuk van de verdachte gelijk te zijn aan een glasscherf op de plaats van het delict, dan bekijkt men aan de hand van de bijbehorende frequentieverdeling hoe zeldzaam de gemeten elementverhouding is. Hoe minder vaak de bepaalde verhouding voorkomt, hoe groter de bewijskracht van de gevonden glasjeeltjes.

Omdat het niet bekend is in hoeverre verschillende elementen onafhankelijk van elkaar in een materiaal voorkomen, mogen waarden uit dergelijke frequentieverdelingen niet met elkaar worden vermenigvuldigd. Zoals we zagen, kan dat wel bij de frequenties van polymorfe bloedkenmerken, zoals fosfoglucumtasotype of bloedgroep, die onafhankelijk van elkaar overerven. Behalve dat men de frequentieverdelingen van element-verhoudingen omzichtig gebruikt, moet er ook voorzichtigheid in acht worden genomen bij het vervaardigen van deze verdelingen. Zo mag de frequentieverdeling weergegeven in afbeelding 9 niet tot stand zijn gekomen door willekeurig glas te verzamelen in een afbraakwijkje van een oud stadsge-deelte. Daar zou relatief te veel 'oud' glas bij zitten en dat kon qua samenstelling wel eens



11



12

afwijken van glas uit in de praktijk onderzochte zaken en dus een vertekend beeld geven.

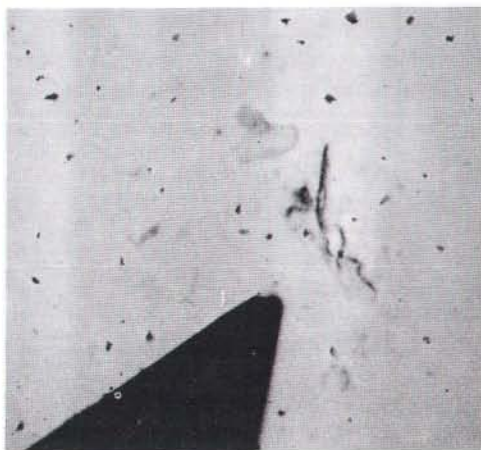
Een verzameling van dit soort gegevens over glas, verf, vezels of papier kan in een rechtszaak helpen bij het taxeren van de bewijskracht van een vastgestelde materiaalovereenkomst. Een enkele maal neemt de bewijskracht van zo'n overeenkomst door specifieke kenmerken sterk toe. Afbeelding 12 toont een stukje donkergroene verf van een deur die bij een inbraak met een kettingzaag is doorgezaagd. Op het donkergroen liggen zeer fijne, gekleurde verfspatjes, kennelijk eerder daarop geraakt door toevallige handelingen met verfspuitbussen in de nabijheid van die deur. Een soortgelijk bespat verfteeltje vond de politie later tussen de tanden van de zaag die door de verdachte was gehanteerd. Naast de zeldzaamheid die kan blijken uit de frequentieverdeling van groene verf, vergrootte het overeenkomende patroon van verfspatten op enorme wijze de bewijskracht van het verfstukje.

Het materiaal verf, zoals uit bovenstaande mag blijken, kan dienen als microspoor. Want net als glas is het een vrij homogeen materiaal. Tot de kenmerken waarop men bij de vergelijking let, behoren kleur en chemische samenstelling wat betreft pigment(en) en bindmiddel. De kleur helpt bijvoorbeeld bij het opsporen van auto's die doorreden na een aanrijding. Autoverven bezitten namelijk een zeer constante kleur. Het Gerechtelijk Laboratorium beschikt dan ook over een uitgebreide verzameling van autoverfkleuren, per kleursoort

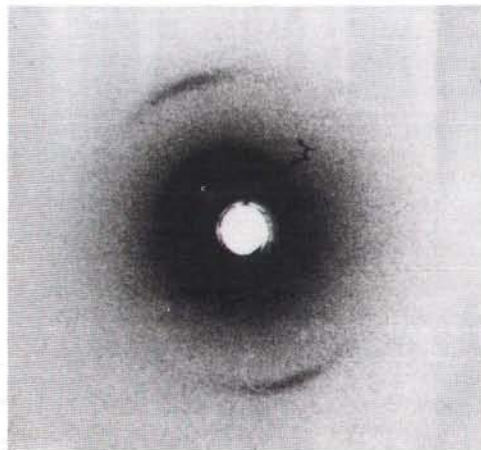
gerangschikt en verwijzend naar merk, type en bouwjaar van de auto's die ermee zijn verfraaid. Van elke kleur is een reflectiespectrum opgenomen in zichtbaar licht, waarbij twee coördinaten in de kleurendriehoek door middel van een rekenprogramma zijn bepaald en in de computer opgeslagen. Van een stukje verf, aangetroffen op de kleding die het slachtoffer van zo'n aanrijding droeg, kan men het reflectiespectrum bepalen. De bij deze meting gevonden kleurcoördinaten geven via de computer de politie aanwijzingen welke auto's in aanmerking kunnen komen als verdacht. Het gigantische autopark, benevens de continue verandering in types en kleuren maakt het bijhouden van een dergelijke kleurverzameling tot een sisyphusarbeid en een kostbaar superspecialisme.

Vezels op het spoor

Is de auto gevonden, dan kan men ook op zoek gaan naar sporen die het slachtoffer op het voertuig achterliet. In zo'n situatie kan bijkomende informatie eveneens de bewijskracht van materiaalovereenkomst sterk vergroten. Na een botsing met een voetganger reed de botsende auto door, maar werd later op aanwijzingen van getuigen door de politie gevonden en op sporen onderzocht. Hierbij trof deze aan de voorzijde een slietvormig versmeerd, dun donkerrood deeltje aan ter grootte van twee bij drie millimeter. Toen de kleding van het aangereden slachtoffer nader werd onder-



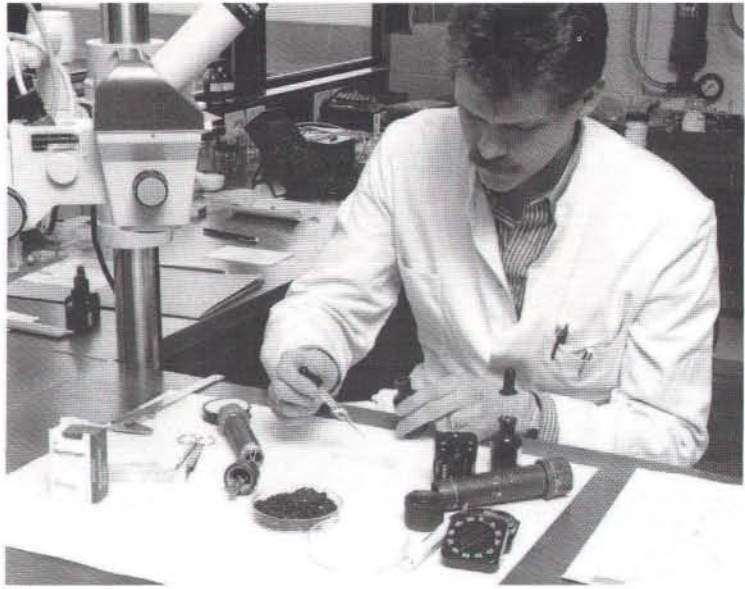
13



14

13, 14 en 15. Het röntgen-diffractiepatroon (14) van vezels die men uit een schilderijtje lossneet (13) dat door Bart van der Leek zou zijn vervaardigd, kwam overeen met dat van acrylvezels. Dit bewees dat het een vervalsing betrof, in 1922 bestonden deze kunstvezels nog niet.

16. Onderzoekers van het Gerechtelijk Laboratorium krijgen ook de bommetjes onder handen die soms worden gevonden op bezoekers van voetbalstadions.



16

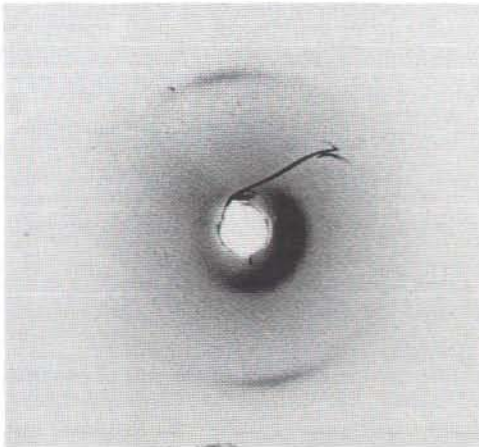
zocht, vond men op één der donkerrode sokken een glimmend plekje van een bij twee centimeter, waar het textielweefsel uit sterk versmeerde vezels bestond. Infraroodanalyse van het versmeerde, rode materiaal op de auto toonde het absorptiespectrum van een acrylvezel. Het weefsel van de sok gaf eenzelfde resultaat.

Acryl smelt en vervormt door wrijvingswarmte zoals die ontstaat tijdens het eerste

contact bij een botsing. Het gegeven dat het geplette acrylvezels betreft, draagt bij aan de zeldzaamheid die uit de frequentieverdeling voor rode acrylvezelsoorten spreekt en kan de bewijskracht van de materiaalovereenkomst doorslaggevend doen toenemen. De geplette vezels duiden immers op een botsend contact met donkerrood textiel. Bij een bepaald aantal auto's en verkeersslachtoffers is de kans op precies zo'n botsing uiterst gering.

Overigens spelen vezels in de criminalistiek een belangrijke rol, niet in de laatste plaats omdat in gematigde en koude klimaten de mensen zich voor een groot deel met textiel bedekken en hun woonomgeving met textiel bekleden. Vezels van weefsels kunnen aan elkaar hechten en als microspoor een verband leggen tussen mensen onderling of bijvoorbeeld tussen een mes en een doorstoken kledingstuk. Door hun grote verscheidenheid in kleur, chemische samenstelling en interne structuur bezitten vezels een hoge bewijswaarde.

Zo stootte de politie, toen zij een zaak rond vervalste schilderijen en etsen ophelderde, op enkele mogelijke vervalste werken van de schilder Bart van der Leek. Eén daarvan zou volgens de signatuur en datering geschilderd moeten zijn in 1922. De gebruikte gouacheverf was aangebracht op hardboard. Hoewel kunst-



15



17

historici de echtheid van het werk op grond van de schilderswijze al sterk betwijfelden, kon men de falsificatie door middel van materiaalanalyse niet eenvoudig aantonen. Immers gouacheverf en board waren ook in 1922 al verkrijgbaar, waarbij de gebruikte grondstoffen niet zodanig specifiek bleken dat op basis hiervan datering met voldoende betrouwbaarheid mogelijk was.

Nu bevat de ons omringende lucht zeer veel korte, zwevende vezeldeeltjes die voortdurend bewegen. Men mag veronderstellen dat altijd, en dus ook tijdens het schilderen, vezeltjes vanuit de lucht in een vochtige laag, zoals bijvoorbeeld natte verf, kunnen zinken. De dro-

gende verf kan die vezels vasthouden en conserveren. In de witte opgedroogde verfgedeelten van het vermeende schilderij uit 1922 zaten tal van duidelijk contrasterende, bijvoorbeeld zwarte, rode of blauwe, vezels. Hiertoe behoorden wolvezels (dichtheid 1,32), katoenvezels (dichtheid 1,52) en rayonvezels (dichtheid 1,52), vezelsoorten die reeds in 1922 bestonden. Daarnaast vonden de gerechtelijk onderzoekers echter enkele kunstvezels, waaronder vezels van acryl (dichtheid 1,15) (afb. 13). Na hun ontdekking in 1935 werden acrylvezels in 1950 in de VS op grote schaal vervaardigd, maar ze verschenen in Nederland pas omstreeks 1955 op de textielmarkt. Dat de gevon-

TABEL 2 Loodvergelijking op grond van isotoopverhoudingen

Lood	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
Slachtoffer	$39,019 \pm 0,82$	$2,0636 \pm 0,023$	$2,4632 \pm 0,018$
Munitie verdachte	$39,227 \pm 0,90$	$2,0573 \pm 0,016$	$2,4666 \pm 0,015$
Kleding verdachte	$38,940 \pm 0,79$	$2,0736 \pm 0,018$	$2,4593 \pm 0,018$
Andere munitie I	$39,697 \pm 1,12$	$2,1052 \pm 0,010$	$2,4851 \pm 0,006$
Andere munitie II	$36,922 \pm 0,99$	$2,2439 \pm 0,019$	$2,3411 \pm 0,027$

17 en 18. Vingerafdrukken spoort men op met laserlicht. Eerst bestuift men het object met fluorescerend poeder dat zich aan door vingers achtergelaten eiwitten hecht. Het poeder licht sterk op wan-

neer het wordt beschenen met laserstralen, zodat men een vingerafdruk kan fotograferen (18). De onlangs gegijzelde Aardapeleters van Van Gogh werd op deze wijze op vingersporen onderzocht.



18

den vezel een acrylvezel was toonde men met röntgendiffractie aan. Overigens bleek onlangs dat in hetzelfde schilderij ook polyestervezels zaten. Op deze wijze kwam een anachronisme en dus de vervalsing aan het licht.

Lood als getuige

Uiteraard moet men met dergelijke interpretaties toch wel steeds voorzichtig zijn, omdat gerestaureerde gedeelten van op zich oude schilderijen natuurlijk ook moderne vezels mogen bevatten. Rembrandts Nachtwacht zal er niet vrij van zijn! We hebben er reeds enkele malen op gewezen, dat microsporen als vergelijkingsmateriaal slechts bruikbaar zijn bij voldoende homogeniteit. Voor glas en verf ging dat op en uiteraard ook voor bijvoorbeeld vezels van gelijke soort. Voor materialen als legeringen geldt het uitgangspunt van homogeniteit echter niet als vanzelfsprekend. Zo bestaan veel kogels uit legeringen van lood en antimoon met sporen van verscheidene andere metalen als arseen, bismut, tin en zilver. Sommige van de aan het lood toegevoegde elementen zijn niet homogeen in het metaalrooster verdeeld. Hierdoor kunnen multi-elementanalyses aan zeer kleine loodfragmenten, zoals die bij schietpartijen kunnen ontstaan door fragmen-

tatie van kogels, resulteren in misleidende uitkomsten.

Door de vooruitgang in de instrumentele analyse kan men thans lood als legering, maar ook elke andere loodverbinding, onderscheiden via isotopen van lood. De reproduceerbaarheid waarmee de isotoopverhoudingen kunnen worden bepaald is zeer groot. Vanwege de meetnauwkeurigheid van zulke analyses laat kogellood zich in een groot aantal klassen indelen. Afhankelijk van de vindplaats van het looderts waaruit het kogellood werd gewonnen, variëren de isotoopconcentraties voor ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb en ^{208}Pb . ^{204}Pb is het oorspronkelijke lood, het isotoop ^{206}Pb ontstond tijdens de chemische evolutie in het heelal en op aarde uit ^{238}U (halfwaardetijd $4,5 \cdot 10^9$ jaar), ^{207}Pb uit ^{235}U (halfwaardetijd $7,1 \cdot 10^8$ jaar) en ^{208}Pb uit ^{232}Th (halfwaardetijd $1,4 \cdot 10^{10}$ jaar). De gemiddelde isotoopconcentraties van het aardse lood bedragen voor ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb en ^{208}Pb respectievelijk 1,48, 23,6, 22,6 en 52,3%.

Als voorbeeld geeft tabel 2 de relatie weer tussen looddeeltjes die werden aangetroffen in een slachtoffer, op de kleding van de verdachte en in kogels die bij de verdachte thuis lagen. Ter vergelijking vermeldt de tabel tevens waarden voor lood uit twee kogels van hetzelfde kaliber maar van een ander merk. Ook nu blijkt hoe microsporen en hedendaagse natuurwetenschappelijke analysemethoden ertoe bijdragen om een misdrijf te reconstrueren. Maar of het nu lood, verf, glas, haar of bloed betreft, natuurwetenschappelijk onderzoek maakt zulke sporen relevant voor de opsporing van en de bewijsvoering bij strafbare feiten. Al vele jaren vormt dit een intrigerend deel van het fundament van onze rechtsstaat.

Literatuur

Logtenberg H, Bakker E. DNA in de getuigenbank. *Natuur & Techniek* 1987; 55: 10, 842-853.

Bronvermelding illustraties

ANP-Foto, Amsterdam: 1.
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

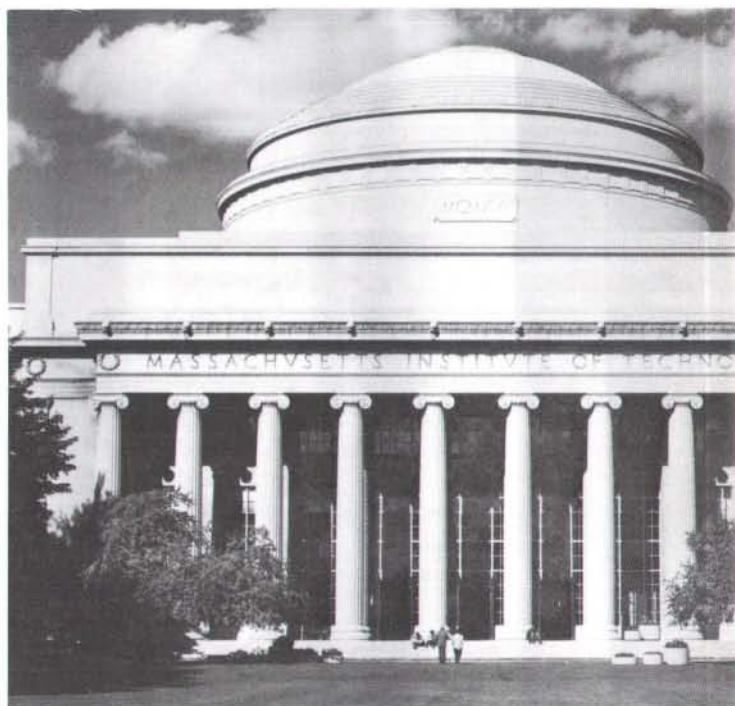
Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

DE INDUSTRIALISATIE VAN HET ONDERZOEK

Paul Wouters

Wetenschappelijk werk wordt in toenemende mate georganiseerd als een industrie. De financiers van onderzoek wachten niet meer in lijdzzaamheid af wat het genie van de wetenschapsmens wenst te produceren. De investeringen in de dure apparatuur en gebouwen dienen profijtelijk te zijn. In de laatste jaren is de organisatie van het Nederlandse wetenschapsbedrijf al ingrijpend gewijzigd. Nu staan de financieringsmodellen ter discussie. Hoe verschillend ze ook zijn, een grotere greep op de produktiviteit van de wetenschapper is hun gemeenschappelijk kenmerk. In vakterminologie: er treedt een verschuiving op van 'input- naar output-financiering'.

"Je vindt her en der nog wel een geïsoleerde onderzoeker die jarenlang op een plek zit zonder dat iemand er wat van merkt, maar ik vind dat niet meer van deze tijd", aldus directeur Van der Molen van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek NWO. NWO is één van de belangrijkste financiers van wetenschappelijk onderzoek. Van der Molens uitspraak illustreert de gewijzigde positie van de wetenschapsbeoefenaar. Het bedrijven van wetenschappelijk werk had in de meeste disciplines tot voor kort nog sterk het karakter van een ambacht. Alleen de



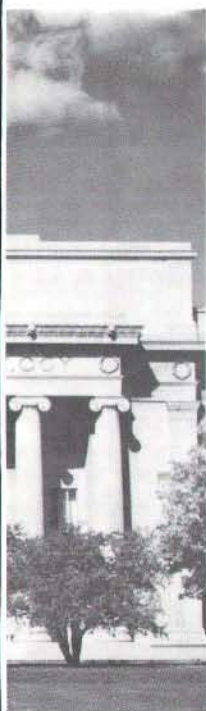
onderzoeksgebieden die veel investeringen vergden, zoals de hoge-energiefysica en de astronomie, waren al sinds de Tweede Wereldoorlog grootschalig georganiseerd. Het werk van de meeste universitaire onderzoekers was kleinschalig en werd bepaald door de individuele vaardigheid van de onderzoeker of de theoreticus. De verhouding tussen wetenschapper en stu-

dent was die tussen meester en gezelschap. Van de overheid werd verwacht dat ze het werk financierde en de vrijheid van onderzoek garandeerde. De uitkomsten waren per definitie onzeker, het werk hield immers juist het verleggen van de grenzen van de kennis in. Alleen van toegepast wetenschappelijk onderzoek en van de proces- en produktontwikkeling konden van tevoren

vastgestelde uitkomsten worden verwacht. Daar werden dan ook andere eisen aan gesteld.

Deze ambachtelijke fase is nu voor het merendeel van de wetenschapsmensen definitief voorbij. Gedeeltelijk komt dit door de veranderingen in de wetenschappen. Beschrijven de vakken zijn veranderd in experimentele, zoals in de biologie en psychologie.

De 'MIT-tempel', uit de tijd dat de onderzoeksbomen nog tot hoog in de hemel groeiden (foto: MIT)



Werkzaamheden waarbij potlood en papier de voornaamste instrumenten waren, vereisen nu dure computers. De letteren en de maatschappijvakken zijn niet meer de goedkoopste eilanden van de universiteiten.

Toch wordt de industrialisatie van het wetenschapsbedrijf niet alleen door deze ontwikkelingen veroorzaakt. Eisen vanuit het bedrijfsleven en de

overheid spelen een niet te onderschatten rol. Van der Molen: "De groep onderzoekers die zich minder bewust is van de wisselwerking met de maatschappij gaat het minder goed." Wetenschappers moeten zich voor hun werk verantwoorden. Zij doen dat in de eerste plaats tegenover hun financiers, de overheid en het bedrijfsleven.

Bonte veelheid

Dit is de achtergrond van het debat over de financiering van het fundamentele en het strategische onderzoek. De laatste term is in de jaren tachtig ontwikkeld als gevolg van de grotere rol van de wetenschap in de samenleving. Het is het grensverleggend onderzoek dat op middellange termijn belangrijke nieuwe toepassingen belooft.

In Nederland vindt een zeer groot deel van het grensverleggend onderzoek plaats aan de universiteiten. Op 1 januari 1983 werd een nieuw financieringssysteem voor het universitair onderzoek ingevoerd, de Voorwaardelijke Financiering (VF). Doelstelling was om de kwaliteit van het onderzoek te verhogen terwijl de overheid toch fors in de budgetten kon snoeien. Tot de invoering van de Voorwaardelijke Financiering konden de universiteiten het geld voor research vrij besteden. De onderzoekers beslisten zelf. Zoals de naam al zegt, eist het VF-systeem dat het onderzoek aan bepaalde voorwaarden voldoet. De programma's worden door een externe instantie beoordeeld, een negatief oordeel heeft ingrijpende gevolgen en kan zelfs leiden tot beëindiging van het onderzoek.

De organisatie van de Voorwaardelijke Financiering is nog regelmatig onderwerp

van gesprek tussen de universiteiten en het ministerie van Onderwijs en Wetenschappen. De eerste vijf jaar werden de programma's vooraf beoordeeld. Het leidde er toe dat vrijwel alle onderzoeken in programma's zijn beschreven. Nu die er zijn, vindt de toetsing achteraf plaats. De bonte veelheid aan beoordelende instanties en ad-hoc-commissies die in het begin opbloeide, wordt inmiddels wat beter beheerst. In toenemende mate organiseert de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) de commissies van deskundigen die het onderzoek aan de universiteiten beoordelen. De KNAW zal ook het werk overnemen dat NWO op dit gebied nog doet. Het Koninklijk Instituut voor Ingenieurs en de Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek spelen eenzelfde rol voor respectievelijk het technisch en het landbouwkundig onderzoek.

Leeuw zonder tanden

De wetenschapsbestuurders verschillen van mening over de resultaten van het nog jonge systeem. De Vereniging van Samenwerkende Nederlandse Universiteiten (VSNU) heeft een positief oordeel. VSNU-voorzitter Van der Schans: "Ik denk dat niemand kan ontkennen dat er geweldige veranderingen hebben plaatsgevonden in het universitair onderzoek." De VSNU is voorstander van uitbreiding van de VF-methode tot buitenuniversitair onderzoek. Ook de farmacoloog De Wied, tot voor kort president van de Academie van Wetenschappen, vindt dat het stelsel wel functioneert, hoewel hij iets voorzichtiger is dan Van der Schans. "Het is een instrument met zijn gren-

zen, je kunt er niet alles van verwachten." Naar zijn gevoel mag het niet te rigide worden toegepast. "We hebben onlangs een grote discussie gehad met de rechtswetenschappen, die zich eigenlijk niet goed lenen voor een aanpak met grote vijfjarige programma's. Dan is de vraag reëel: kunnen we voor de alfavakken niet iets anders doen?"

De Raad van Advies voor het Wetenschapsbeleid (RAWB), het belangrijkste adviesorgaan van de regering over wetenschapsbeleid, is ronduit negatief in zijn oordeel. "De financieringsstructuur van de universiteiten is niet gericht op het honoreren van kwaliteit", oordeelde de RAWB in zijn jaaradvies 1989. De raad vindt dat de universiteiten niet meer moeten proberen om alle wetenschappen te bestrijken, maar zich ieder moeten concentreren op een paar takken van onderzoek. Daarom moeten de onderzoeksgelden anders worden verdeeld over de universiteiten. "De Voorwaardelijke Financiering heeft hierin geen verbetering gebracht", aldus de RAWB.

Inmiddels heeft de regering het RAWB-standpunt overgenomen. Zij erkent dat de Voorwaardelijke Financiering de kwaliteit heeft bevorderd, maar volgens haar "wordt niet het hoogst bereikbare niveau binnen de discipline gehaald." Minister Ritzen is van mening dat het VF-stelsel geen waarborg tegen slecht onderzoek is. "Het grenst het onderzoek alleen af van het allerslechtste. Slecht onderzoek kan blijven bestaan als het maar in een redelijke structuur is ingebed", verklaarde hij tegenover het Amsterdamse universiteitsblad *Folia Civitatis*.

Ook de meeste onderzoekers

van het wetenschapsbeleid zijn kritisch over de Voorwaardelijke Financiering. De Amsterdamse hoogleraar Blume: "Het is een leeuw zonder tanden." De econoom Hazeu, die op het management van het onderzoek promoveerde: "Het kan het best bestempeld worden als oude wijn (het lopende onderzoek) in nieuwe zakken (etiketten)." Wel is het VF-stelsel volgens hem een sturingsmogelijkheid voor faculteitsbesturen. "Het geeft een enigszins onderbouwde indruk van de sterke en zwakke plekken." Maar als instrument voor een landelijk onderzoeksbeleid is het "een veel te zwak instrument", aldus Hazeu.

toekenning van een NWO-subsidie daarom een erkenning van extra kwaliteit. NWO kent dus niet alleen geld toe maar ook prestige. In tegenstelling tot de Voorwaardelijke Financiering worden aanvragen vóóraf beoordeeld. De verantwoordelijkheid daarvoor ligt bij de gebiedsbesturen, waarin de NWO is opgedeeld, en steunt in de praktijk het oordeel van prominente onderzoekers. Om het niveau van de wetenschappelijke produktie in Nederland te verhogen, wil minister Ritzen het aandeel van NWO vergroten ten koste van de geldstroom via de Voorwaardelijke Financiering. De universiteiten zijn daar pertinent tegenstander van, maar

"Je vindt her en der nog wel een geïsoleerde onderzoeker die jarenlang op een plek zit zonder dat iemand er wat van merkt, maar dat is niet meer van deze tijd"

Rood lichtje

Verhoging van de kwaliteit is het sleutelwoord in de 'tweede geldstroom' die via NWO loopt. Vergeleken met de directe financiering van de universiteiten door het ministerie van Onderwijs en Wetenschappen (de 'eerste geldstroom') is de NWO-financiering relatief klein. Het universitair onderzoek kreeg via de eerste geldstroom per 1 januari 1989 1530 miljoen gulden, het NWO-budget bedroeg toen in totaal 323 miljoen. Toch oefent de NWO grote invloed uit op de richting van de research. Zij mikt vooral op het beste onderzoek, neemt initiatieven tot nieuwe onderzoeksgebieden en vertaalt maatschappelijke prioriteiten via onderzoekprogramma's in concrete projecten. Voor de wetenschapsbeoefenaren is de

lijken het pleit te zullen verliezen. Een kamermeerderheid steunt Ritzen. De NWO is niet onverdeeld gelukkig met deze gang van zaken. In haar commentaar op het Hoger Onderwijs en Onderzoek Plan HOOP, schreef het NWO-bestuur er "met gemengde gevoelens" kennis van te hebben genomen. Het effect van een groeiende tweede geldstroom is groter naarmate de universiteiten beter in staat zijn met flexibele middelen te werken, aldus NWO.

Dat is het probleem. De universiteiten kampen al jaren met veel bestuurlijke onrust, een snel groeiende studententolloop en een navenant zwaarder wordende onderwijsstaak en krimpende budgetten. Het aanboren van een 'derde geldstroom' werd een deel van het universitaire antwoord: het contractonder-

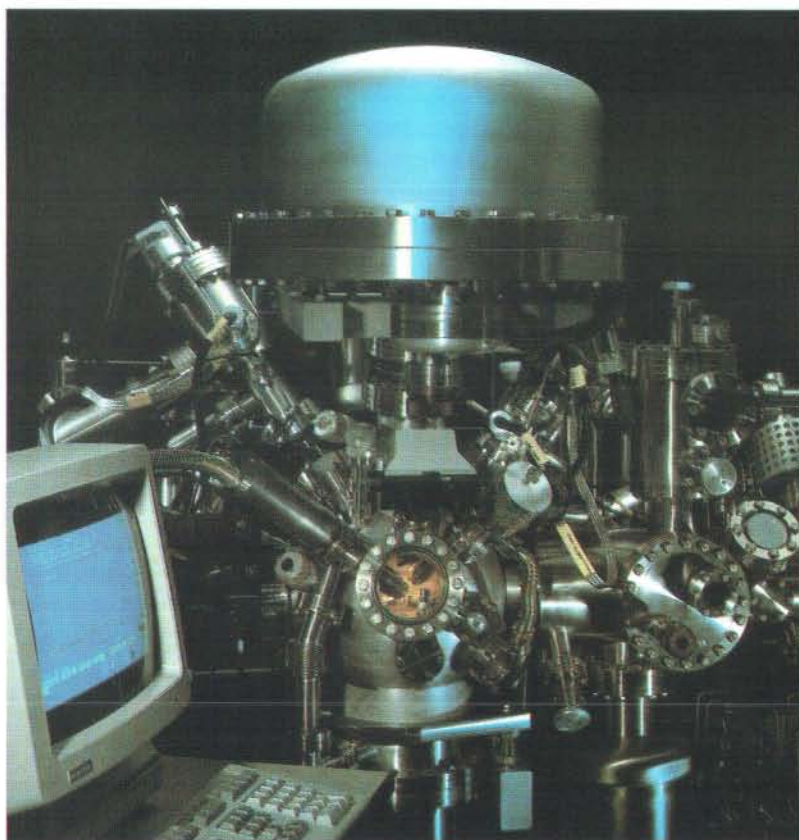
zoek, onderzoek in opdracht. Ruim een vijfde van de research aan universiteiten wordt op deze manier gefinancierd en opgezet. RAWB-voorzitter Kramer heeft eens gezegd dat er "een rood lichtje moet gaan branden" als meer dan vijftien procent van het onderzoek contractonderzoek is. Dat lichtje brandt, maar de wetenschappelijke gemeenschap weet nog niet zo goed hoe te reageren.

De Wied zegt dat het binnen de Akademie van Wetenschappen geen hot item is. De RAWB waarschuwt in al haar adviezen voor ondergraving van de universiteit, maar erkent dat het moeilijk is precies aan te geven wanneer de derde geldstroom de vrijheid

van onderzoek of de kritische functie van de universiteit bedreigt. Het blijft tot nog toe bij algemeen gestelde waarschuwingen. Alleen de voormalige rector magnificus van de Rotterdamse Erasmusuniversiteit, Rinnooy Kan, heeft een concreet voorstel gedaan: het opstellen van een gedragscode, zoals die aan Amerikaanse universiteiten bestaat. Zo'n code zou de risico's van een te grote afhankelijkheid van de onderzoeker van overheid of bedrijfsleven moeten tegengaan en vooral de publicatievrijheid moeten garanderen. Vooral als grote winsten uit vindingen of ontdekkingen kunnen voortvloeien, wil dat laatste nog wel eens onder druk komen te staan. Een

deel van de moeilijkheid om greep te krijgen op het contractonderzoek is het versnipperde karakter ervan.

Eigenlijk bestaat het contractonderzoek niet. Zo is het niet allemaal toegepast onderzoek. Uit een onderzoek van de Algemene Rekenkamer in 1988 bleek dat 22 procent van de contractresearch fundamenteel onderzoek is. Alleen in de maatschappijwetenschappen is dat percentage beduidend lager, 11 procent. Slechts 21 procent van de opdrachten is toegepast onderzoek, 38 procent zit tussen toegepast en fundamenteel onderzoek in. Hier staat tegenover dat slechts een vijfde van het contractonderzoek deel is van het reguliere on-



Mensen en machines maken wetenschap tot een dure tak van industrie (foto: V&G Instruments BV, Weesp)



(Cartoon: Reinhold Löffler)

derzoekprogramma. Voor bijna zestig procent is afgeweken van het oorspronkelijke plan. De gevolgen daarvan zijn nog nauwelijks in kaart gebracht.

Manager in negen fasen

Contractonderzoek is de oudste en meest directe vorm van 'output-financiering', het verschaffen van geld aan de hand van de uitkomsten. De onzekerheid die eigen is aan grensverleggend wetenschappelijk werk, maakt zo'n directe koppeling tussen geld en prestatie voor het meeste onderzoek echter ongeschikt. Dat is de reden dat de 'input-financiering', de financiering zonder zicht op de uitkomsten, het in de wetenschap zo lang heeft uitgehouden. De laatste jaren ontwikkelt het ministerie van onderwijs met behulp van adviesbureaus en onderzoeksgroepen subtielere vormen van output-financie-

ring. Een deel van de plannen komt neer op het kostenbewust maken van de onderzoeks en het creëren van management-structuren die voor laboratoria geschikt zijn.

Hoeksema en Mellink, adviseurs van het bureau Volder & Vis, hebben in opdracht van het ministerie een zelfbudgetteringsmethode voor researchorganisaties ontworpen. Het is een stap voor stap opleiding tot integraal manager in negen fasen. De meeste aandacht gaat echter uit naar het ontwikkelen van criteria waarmee de wetenschapsproductie kan worden gemeten. De wetenschapssociologie heeft er diverse ontwikkeld, waaronder de aantallen publicaties en methoden om te meten hoe vaak ze worden geciteerd. Het ministerie vroeg aan de RAWB in hoeverre het mogelijk was deze criteria direct te koppelen aan gegevens over de 'input', de hoeveelheid mensen en kosten ver-

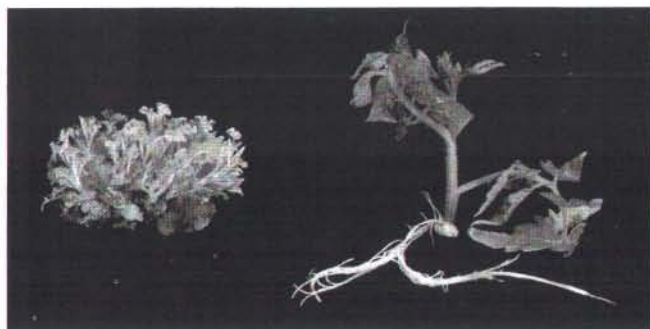
bonden aan een onderzoek. De RAWB reageerde negatief. De gegevens over de resultaten van wetenschappelijk onderzoek kunnen niet zo eenvoudig worden gemeten. "Kwantitatieve analyses tonen slechts een deel van de werkelijkheid. Kwaliteit en doelmatigheid kunnen alleen door ter zake deskundigen worden beoordeeld", aldus de raad. De Wied is het daar hartgrondig mee eens. "Het hanteren van die cijfers moet altijd zijn ingebed in het *peer-review*-systeem (de beoordeling door vakgenoten)." Alleen dan kunnen de publicatie- en citatiegegevens juist worden geïnterpreteerd. De Wied: "Het is levensgevaarlijk om ze zonder dit soort veiligheids garanties in handen van bureaucraten te leggen." De econoom Hazeu trekt in zijn proefschrift dezelfde lijn. Binnen de universiteiten moet het gebruik van deze gegevens over de produktiviteit van het onderzoek alleen op faculteitsniveau plaatsvinden, betoogde hij in het *Tijdschrift voor Hoger Onderwijs*. Hij vindt het ongewenst dat hogere niveaus zich daarmee bezighouden, het brengt ze alleen maar in de verleiding het beleid op 'de automatische piloot' te zetten.

Het is een interessante paradox. Juist het onderzoek naar nieuwe manieren om wetenschap te meten, bevestigt de klassieke beoordeling van de kwaliteit van onderzoek, het *peer-review*-systeem in zijn waarde. De kern van het ambacht blijft blijkbaar overeind, hoewel structuren en financieringsmethoden modern-industrieel zijn geworden.

WIENS PLANT?

Privatisering van genen, planten en dieren

Joost van Kasteren



Wie mag het meest verdienen aan een gemanipuleerde plant?
(foto: CPO, Wageningen)

Op 13 april 1984 diende Lubrizol Genetics Inc., een biotechnologiefirma uit Boulder, Colorado een aanvraag in voor een octrooi bij het Europese Octrooibureau (EOB) in München. Volgens de geldende classificatieregels bij het EOB, kreeg de aanvraag het nummer 0122791. Na de gebruikelijke procedure werd het octrooi verleend op 29 maart 1989.

Het octrooi behandelt een techniek om het vaseoline-gen uit zonnebloemen in te bouwen in soja, andere vlinderbloemigen en tabak. Vaseoline is een opslag-eiwit. Je zou kunnen zeggen dat inbouw ervan leidt tot 'eiwitverrijking' van de gemanipuleerde planten.

Tot zover lijkt er niets aan de hand. Iedereen kan een octrooi krijgen op een techniek, vooropgesteld dat deze nieuw is, inventief is en toegepast kan worden op het gebied van de nijverheid (inclusief de

landbouw). Lubrizol Genetics ging echter een stapje verder. Na een hele lijst claims die de techniek betreffen, volgen, bijna onopvallend, twee andere claims. De ene, claim 19, luidt: "A plant cell produced according to the method of claims 10-18". De andere, claim 20: "A plant or plant tissue grown from a plant cell according to claim 19".

Met de laatste twee claims verwerft Lubrizol dus het intellectuele eigendom over alle planten die, dankzij de vermelde techniek, beschikken over het vaseoline-gen. Dus niet alleen de plantencel met het gen, maar ook de plant die daaruit wordt opgekweekt en alle nakomelingen daarvan, althans tot het jaar 2004, als het octrooi is verlopen.

Volgens Vincent Lucassen, woordvoerder van de Stichting Oppositie Planten Octrooi (STOP), is met het verlenen van het octrooi aan Lubrizol een grens doorbroken.

Tot aan het octrooi van Lubrizol zijn er geen octrooien verleend op levend materiaal. Afgezien dan van die op micro-organismen, want die worden al sinds de activiteiten van Louis Pasteur op grote schaal verleend. "Genen, planten en dieren worden gepatenteerd" schrijft Lucasen in *Biotekst*, een blad dat de ontwikkelingen in de biotechnologie kritisch volgt. Met alle gevolgen van dien voor de landbouw en de voedselvoorziening. Octrooien belemmeren het vrije verkeer van plantmateriaal en maken de kwekers en daarmee de boeren afhankelijk van bedrijven die dergelijke octrooiën in bezit hebben.

Lubrizol Genetics Inc. is niet de enige die een octrooi-aanvraag heeft ingediend. Wel de eerste die de aanvraag toegewezen heeft gekregen. In de wolkenkrabbers van het EOB in Rijswijk en München liggen honderden octrooi-aanvragen te wachten op verlening. Daarbij gaat het zowel om octrooien op plantaardig materiaal als om octrooien op dieren.

Van de kant van de bedrijven is het indienen van een octrooi-aanvraag en bijgevolg het verwerven van een octrooi essentieel. Vele miljoenen guldens gaan er zitten in de ontwikkeling van genetisch veranderde organismen. Die miljoenen guldens moeten door de verkoop van die veranderde organismen of hun producten worden terugverdiend. Een octrooi geeft iemand twintig jaar de gelegenheid om een vinding 'exclusief' te exploiteren. Dankzij die bescherming kan men dat geld terugverdienen. Octrooien, zo redeneert de industrie, dragen dus bij aan de technische ontwikkeling. Zonder bescherming geen ontwikkelingswerk en daar-

mee geen technische vooruitgang. Dat geldt voor machines, maar evengoed voor biologische systemen.

Hutspot

De oppositie in Nederland tegen het Lubrizol-octrooi is een merkwaardige hutspot van belangengroepen. De stichting STOP, die het octrooi formeel aanvecht bij de Technische Raad van Beroep van het Octrooibureau, telt onder zijn sympathisanten onder meer het Landbouwschap, de Nationale Coöperatieve Raad, de Agrarische Jongeren en de Nederlandse Vereniging van Kwekers en Handelaren in Zaaizaad en Plantgoed. Saillant detail: lid

op planten of dieren wordt toegekend moet er, zo stelt de stichting, eerst een maatschappelijke discussie plaatsvinden. De politiek dient te besluiten over het octrooi op leven; niet een paar octrooi-deskundigen in München.

De politiek weet echter niets van octrooiën, noch van de mogelijkheden van de biotechnologie. Dat bleek althans bij de behandeling van de notitie die landbouwminister Braks daar vorig jaar over liet verschijnen. Of je dat de politici kwalijk kunt nemen is nog maar de vraag. De situatie rond het octrooiëren van levend materiaal is behoorlijk ingewikkeld.

Volgens artikel 53b van het Europese Octrooiwet is

dieren geen *products of nature* meer.

In de jaren tachtig woedde er in de Verenigde Staten een stevige discussie naar aanleiding van een octrooiaanvraag van de onderzoeker Chakrabarty, die een *Pseudomonas*-bacterie zodanig had gemanipuleerd dat deze aardolie-resten kon omzetten in eetbare derivaten. Eetbaar althans voor 'normale' micro-organismen.

In eerste instantie werd die aanvraag verworpen; octrooi op leven zou niet mogelijk zijn. De indiener legde zich daar niet bij neer, ging in beroep, weer in beroep en kwam uiteindelijk bij het Supreme Court, het Amerikaanse hooggerichtshof, terecht. Dat hoogste rechtcollege concludeerde dat de octrooiwet van de Verenigde Staten geen grenzen stelt aan het octrooiëren van levend materiaal. Het criterium voor al of niet

Voordat een octrooi op leven wordt toegekend, moet er, zo stelt de actiegroep STOP, een politieke discussie plaatshebben

van de laatste club is ook het Leidse biotechnologiebedrijf Mogen, dat naarstig bezig is met onderzoek naar aardappelen die albumine produceren. Overigens vecht Mogen het octrooi alleen aan op de inhoud van de claims. Het bedrijf is principieel voorstander van het verlenen van octrooi op planten, verklaarde desgevraagd een woordvoerder van Mogen. Naast deze vertegenwoordigers van het 'groene front' vinden we onder de supporters van de stichting ook de Vereniging Milieudefensie, de Voedingsbond, de NOVIB en de Stichting Natuur en Milieu.

De grootste gemene deler tussen die verschillende belangengroepen is dat men vindt dat het Europese Octrooibureau met deze toekenning aan Lubrizol buiten zijn boekje is gegaan. Voordat een octrooi

het niet mogelijk om octrooi te verlenen op planten- of dierenrassen of biologische processen. Dat geldt, zoals gezegd, niet voor micro-organismen. Die mogen allang worden geoctrooieerd. Heineken bier bijvoorbeeld wordt al sinds het eind van de vorige eeuw gebrouwen met een gist, de Heineken A-gist; indertijd geoctrooieerd door een leerling van Louis Pasteur, Dr Elion.

Octrooiën op planten of dieren waren echter tot aan de opkomst van de biotechnologie volstrekt niet aan de orde. Planten of dieren zijn *products of nature* en als zodanig vormen ze geen uitvinding waarop men rechten kan laten gelden. De biotechnologie, waarbij de mens ingrijpt in het erfelijk materiaal van dieren en planten, veranderde dat. Ineens bleken planten en



verlenen van een octrooi was niet of iets al dan niet levend was, maar of iets *man-made* was of niet. Alles onder de zon dat door mensen is gemaakt leent zich voor octrooiëring, zo oordeelde het hoogerechtshof. Daaronder vallen dus ook planten en dieren, mits sprake is van *man-made inventions*.

Ros zonder doornen

In Europa lag de zaak wat anders. Daar was octrooi op micro-organismen, op leven dus, in principe allang mogelijk. De discussie hier concentreert zich op de term planten en dierenrassen, genoemd in artikel 53b eerste lid van het Europees Octrooi-verdrag. De reden dat men zo de nadruk legt op het begrip ras, is dat een aantal commerciële plantenrassen op een andere manier wordt beschermd dan via het octrooierecht. Nieuwe va-

riëteiten, bijvoorbeeld een nieuwe tulp of een roos zonder doornen, worden opgenomen in de Kwekerslijst en vallen daarmee onder het kwekersrecht.

De meeste Europese landen hebben een of andere vorm van kwekersrecht; in Nederland is dat geregeld in de Zaaizaad- en Plantgoedwet van 1966. Bescherming van een ras door het kwekersrecht sluit een gelijktijdige bescherming door het octrooierecht uit. Niet alleen in Nederland, maar in alle landen die de Union pour la Protection des Obtentions Vegetales, kortweg de UPOV-conventie, hebben ondertekend.

Bescherming door kwekersrecht gaat een stuk minder ver dan bescherming door het octrooierecht. Bij het kwekersrecht mag iemand bijvoorbeeld rustig een beschermde variëteit gebruiken om er verder mee te kweken. Hij hoeft

geen toestemming te vragen aan de eigenaar van het oorspronkelijke kwekersrecht. Hij mag zelfs zijn eigen nieuwe variëteit op de markt brengen, zonder dat hij licenties hoeft af te dragen aan de houder van het kwekersrecht over de oorspronkelijke variëteit. Een boer of tuinder die zaad koopt dat beschermd is onder het kwekersrecht, mag dat zaad opkweken en de planten verkopen zonder dat hij extra kwekersrechten hoeft te betalen. Hij betaalt alleen bij de aanschaf van het zaad enige kwekersrechten. Het zaad dat de 'beschermde' plant oplevert, mag hij het volgend seizoen weer inzaaien, zonder dat hij opnieuw rechten aan de kweker hoeft te betalen. Biotechnologische bedrijven, die zich steeds meer storten op de plantenveredeling, vinden de bescherming door het kwekersrecht onvoldoende. Het biedt te weinig mogelijkheid om de investeringen in het onderzoek terug te verdienen. De industrie wil zijn vindingen octrooiëren. Daarvoor moet men echter om artikel 53b heen redeneren. Volgens de industrie is de term ras strikt beperkt tot die planten die voldoen aan de criteria voor het kwekersrecht. Dat lijkt niet alleen een cirkelredenering, dat is het ook. Ook 'rassen' waarvoor het kwekersrecht niet geldt, en dat zijn er nogal wat, omdat alleen cultuurgewassen onder het kwekersrecht vallen, zouden strikt genomen geen 'ras' zijn en dus geoctrooieerd mogen worden.

Voorwaarde is wel dat voldaan wordt aan de criteria die gelden voor octrooiëren; nieuw, inventief en toepasbaar. Als je in het oerwoud een bijzondere plant vindt, dan is dat een *product of nature* en daarom niet octrooiëerbaar. Ga je eraan sleute-

Micro-organismen – die uit deze kolven gaan in grote fermentoren – enzymen produceren – zijn allang octrooiëerbaar (foto: NOVO Industri A/S)

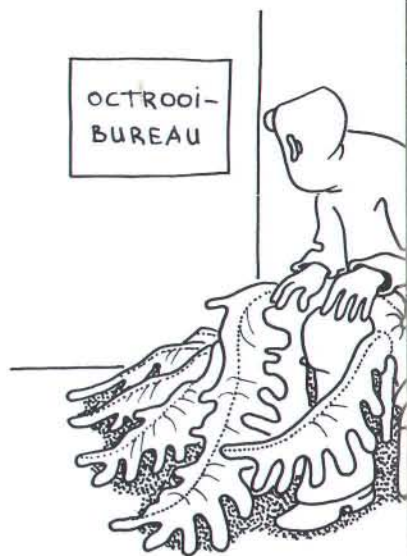


len, dan is het produkt van je gesleutel wel octrooieerbaar, evenals alle nakomelingen ervan.

Arme boer

Bij de opposanten van het Lubrizol-octrooi zijn de meningen enigszins verdeeld. Een deel ervan, het radicalere deel, meent dat alle plantaardig en dierlijk leven is uitgesloten van octrooibescherming. De term ras in het Octrooi-verdrag slaat gewoon op alle planten en dieren, omdat ze altijd wel tot een bepaald ras behoren. Alleen bepaalde variëteiten kunnen worden beschermd onder het kwekersrecht en dat is alles. Een belangrijk motief voor

recht. Niet alleen zouden meer variëteiten beschermd moeten kunnen worden onder het kwekersrecht; ook zou de kweker, de producent van nieuwe rassen, meer aan zijn ontwikkelingswerk moeten kunnen verdienen. Bijvoorbeeld door het ontvangen van licenties van kwekers die met 'zijn' variëteit verder kweken. Het Landbouwschap zit onder andere op die lijn. Het schap pleit voor een traject waarbij technieken voor biotechnologische veredeling worden beschermd door octrooiën. Zo gauw het gaat om planten of materiaal waar planten van gekweekt kunnen worden, een simpele protoplast bijvoorbeeld, zou het Kwekersrecht in werking



Of de juridische bescherming van genetisch materiaal gebeurt onder het octrooirecht of het kwekersrecht is in wezen bijzaak

deze opstelling is dat het erfelijk materiaal in de wereld behoort tot het 'erfgoed der mensheid'. Het mag niet zo zijn, schrijft Lucassen in *Biotekst*, dat bedrijven planten met bijzondere genen (bijvoorbeeld aardappelplanten die resistent zijn tegen aardappelmoeheid) uit ontwikkelingslanden halen; die genen vervolgens overbrengen naar andere aardappelplanten en vervolgens voor veel geld pootgoed verkopen plus nog eens rechten ontvangen over elke aardappel die een arme boer verkoopt. Een ander deel van de opposanten meent dat een zekere bescherming mogelijk moet zijn, ook op biotechnologisch geconstrueerde planten en dieren. Zij zoeken het echter niet in een bescherming via octrooiën, maar in een uitbreiding van het kwekers-

moeten treden. In geval van het Lubrizol-octrooi is de grens overschreden. Een dergelijk octrooi, dat zich uitstrekt tot complete planten, maakt het Kwekersrecht overbodig en dat wil men niet. De discussie wordt nog eens extra gecompliceerd doordat het Europees Octrooibureau een octrooiaanvraag op een dier heeft verworpen. Harvard College diende enkele jaren geleden een octrooiaanvraag in op de 'Harvardmuis', een muis die een kunstmatig geïntroduceerd menselijk kankergene bevat. Het beestje wordt gebruikt om stoffen te testen om te beoordelen of ze bij mensen al dan niet kanker veroorzaken. In de Verenigde Staten is het octrooi verleend, maar het Europees Octrooibureau besloot in juni vorig jaar om het octrooi niet te verlenen.

Bij de argumentatie volgde het EOB een redenering, die, aldus Lucassen, met evenveel recht toegepast kan worden op het aan Lubrizol verleende octrooi. Die redenering luidt in vrijmoedige samenvatting, dat technieken voor het 'maken' van een plant of dier geen microbiologische technieken kunnen worden genoemd. Produkten gemaakt met deze technieken, planten en dieren dus, vallen dan ook buiten de octrooibescherming. Overigens wordt in octrooi-kringen verondersteld dat de octrooiaanvraag van Harvard vooral om tactische redenen is verworpen. Harvard College is in beroep gegaan tegen de beslissing en als de Technical Board of Appeal het beroep toewijst en het octrooi alsnog verleent staat het octrooi een stuk sterker.

III tegen IV

Naast octrooigemachtigden en kwekersgroepen begint ook de politiek zich te roeren. In oktober 1988 heeft het Di-

(Cartoon: Reinhold Löffler)



rectoraat Generaal III (Economische Zaken en Industrie) van de Europese Commissie een concept-richtlijn uitgebracht over de kwestie. In die richtlijn wordt het octrooieren van levend materiaal als toelaatbaar beschouwd. Planten en dieren zijn dus te octrooieren, mits men maar niet in conflict komt met het kwekersrecht. Een nieuw 'ras' is dus niet octrooieerbaar, maar al het andere – klassen, geslachten of soorten – wel. Die dubbelhartigheid wordt ingegeven door het feit dat een ander Europees Directoraat (DG VI, Landbouw) tegelijkertijd een voorzet gaf voor een uitbreiding van het kwekersrecht. In de notitie staat dat het kwekersrecht als enige vorm van bescherming voor alle botanische rassen zou moeten gelden. Het octrooierecht verdwijnt voor DG VI uit beeld en wordt vervangen door een uitgebreid kwekersrecht. Niet verwonderlijk overigens, want de belangen van het 'groene front' zijn stevig verankerd in DG VI.

In de al genoemde notitie van minister Braks, *Octrooi- en Kwekersrecht*, die in juni vorig jaar verscheen, wordt min of meer dezelfde lijn gevolgd. Anders dan het landbouwdirectoraat van de Europese Commissie sluit de Nederlandse notitie de mogelijkheid tot octrooieren van een gen niet uit.

Dieventaaltje

Al met al een bijzonder gecompliceerde materie, niet in de laatste plaats door het juridische dieventaaltje dat in de octrooi- en kwekerswereld wordt gehanteerd. Toch begint er, sinds het jongste overleg tussen de World International Patent Organisation (die zich bezighoudt met octrooiwetgeving) en de UPOV (die zich bezighoudt met kwekersrecht), enige lijn in te komen.

Het lijkt erop dat onder druk van de oprukkende biotechnologie in ieder geval de juridische bescherming van genetisch materiaal zal toenemen. Of dat nu gebeurt onder het octrooierecht of door uitbreiding van het kwekersrecht is in wezen maar bijzaak. De uitkomst zal zijn dat wat de Verenigde Naties rekent tot het gemeenschappelijk erfgoed van de mensheid – het genetische materiaal in de wereld – op een of andere manier wordt geprivatiseerd. Enerzijds is dat gunstig, omdat het leidt tot meer en meer financieel riskant onderzoek op het gebied van plantaardige en dierlijke biotechnologie. Anderzijds is dat een ongunstige ontwikkeling: voor de arme boer in de Derde Wereld maakt het niet uit of het zaai-zaad vanwege een octrooi of vanwege een kwekersrecht duurder is geworden. Hij zal er toch meer voor moeten betalen.

NATUUR & TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau BV te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België:

Boechtstraat 15,

1860-Meuse/Brussel.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Advertenties:

R.A. Bodden-Welsch.

Telefoon: 0(0-31) 43 254 044.

Telefax: 0(0-31) 43 216 124.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK.

Door een lidmaatschap te nemen betaalt u voor elk boek een serieprijs die veel lager is dan de losse prijs. Voor inlichtingen: 0(0-31) 43 254 044.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 112,50 of 2200 F. Voor drie jaar: f 265,— of 5195 F.

Prijs voor studenten: f 85,— of 1660 F.

Overige landen: + f 35,— extra porto (zeepost) of + f 45,— tot f 120,— (luchtpost).

Losse nummers: f 10,95 of 215 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel:

Betapress BV, Gilze. Tel.: 01615-7800.

Abonnementen op NATUUR & TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli (eventueel met terugwerkende kracht), doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank NV te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

Prijs:

f 69,50 of 1360 F

Voor abonnees:

f 49,75 of 975 F

Maar liefst 80% van de oppervlakte van ons land wordt tot het platteland gerekend. Het platteland is het gezicht van Nederland. Bovendien zijn we er van afhankelijk; in de eerste plaats vanwege ons voedsel, maar ook omdat we die ruimte voor steeds meer andere dingen willen gebruiken. De Landinrichtingsdienst van het Ministerie van Landbouw en Visserij, die zich o.a. met de ruilverkavelingen bezighoudt, is nauw betrokken geweest bij de ontwikkelingen op het platteland. De veranderingen die op het platteland hebben plaatsgevonden zijn door de Landinrichtingsdienst in een boek, in samenwerking met Natuur & Techniek, in beeld gebracht.

VERANDEREND NEDERLAND

Jan Groeneveld

Een halve eeuw ontwikkelingen op het platteland



NATUUR & TECHNIEK



VERANDEREND
NEDERLAND
en halve eeuw ontwikkelingen
op het platteland

De auteur, Jan Groeneveld, heeft daarover een boeiend verhaal geschreven, verlevendigd met veel illustraties en interviews met mensen die veranderingen van dichtbij hebben meegemaakt. Die veranderingen worden bovendien beschreven tegen een achtergrond van de sociaal-economische ontwikkelingen.

Hoe een en ander met elkaar samenhangt, is nog eens verduidelijkt in beschrijvingen van negen markante gebieden in Nederland: Ameland, Staphorst, Walcheren, de Betuwe, het Geestmerambacht, het Zuidlimburgse Mergelland, Giethoorn, Midden-Delfland en de Groningse Veenkoloniën.

VERANDEREND NEDERLAND

MEER DAN ACTUEEL

▼ Luchtopname van Staphorst.

VERANDEREND NEDERLAND laat zich niet zonder meer zetten in de rij van boeken over landschappen en natuurgebieden. In ons land is vrijwel iedere plaats door mensen beïnvloed. Dit boek behandelt op indrukwekkende wijze de maatschappelijke problematiek die hieruit voortvloeit.

De vele illustraties zijn voor een groot deel gemaakt door fotografen en kartografen van de Landinrichtingsdienst. Historisch materiaal werd uit oude archieven opgediept door de auteur en de redactie van Natuur & Techniek, welke laatste ook de eindredactie verzorgde. De fraaie vormgeving is het werk van de studio van Natuur & Techniek.

Zowel voor geïnteresseerden in de landbouw als in sociologie, economie, ruimtelijke ordening, natuurbehoud en recreatie is het een onmisbaar kijkboek, leesboek en naslagwerk.

▼ Mechanisatie in de landbouw.



De tekst wordt voorafgegaan door een ten geleide van de Minister van Landbouw en Visserij en een voorwoord van de auteur. Het boek is voorzien van een literatuuropgave. Het is in linnen gebonden (met stofomslag) en telt 256 pagina's met ruim 500 illustraties (foto's, kaarten en tekeningen), grotendeels in vierkleurendruk.



U kunt VERANDEREND NEDERLAND bestellen met bijgaande antwoordkaart.

Ook verkrijgbaar in de erkende boekhandel.

PRIJSVRAAG

Oplossing maart

Het probleem van de astronauten die ballen overgooien in de ruimte gaf een flinke variatie aan inzendingen. Het formaat van de inzendingen varieerde van een briefkaart tot tien kantjes A4 inclusief PASCAL-programma. De professor probeert in deze rubriek met minder woorden de oplossing te geven. Vanwege ruimtegebrek laat hij de moeilijke berekening achterwege. Stel dat de massa van een astronaut m_a is, de massa van de bal

gelijk is aan m_b en astronauten de bal met een snelheid v van zich afgooien. We stellen de breuk $m_b/(m_a + m_b)$ gelijk aan α , zodat de breuk $m_a/(m_a + m_b)$ gelijk is aan $(1 - \alpha)$.

We beschouwen de snelheid ten opzichte van een stilstaand assenstelsel in de ruimte. Na n keer overgooien bedraagt de snelheid van een astronaut:

$$v_a = v(1 - \alpha^{n+1})$$

De snelheid van de bal is dan:

$$v_b = v\alpha^{n+2}$$

Het spelletje stopt natuurlijk als de snelheid van een astronaut

groter is dan de snelheid van de bal. Als we ervan uitgaan dat $\alpha \approx 1$, dan gebeurt dit als $\alpha^{n+1} \approx \alpha^{n+2} \approx 0,5$, oftewel als zowel de astronauten als de bal een snelheid van $0,5 \cdot v$ hebben.

De top van de competitieladder is deze maand bereikt door L.H. van de Raadt uit Edam, die daarmee een jaarabonnement op Natuur & Techniek heeft gewonnen. Na loting tussen de vele goede inzenders kwam J.J.M. Potters uit de bus als winnaar van een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek.

De nieuwe opgave

De professor maakt zich zorgen over de sparren in zijn achtertuin: zij hebben last van zure regen. Daarom besluit hij een proces te ontwikkelen voor het reinigen van het rookgas uit een naburige kolengestookte energiecentrale. Hij wil het rookgas wassen met een waterige suspensie van calciumcarbonaat of calciumhydroxide. Het zwaveldioxyde wordt in beide gevallen tijdens het wassen

omgezet in gips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Welke reactiemechanismen horen bij deze twee processen?

De centrale produceert elk uur 10^4 m^3 rookgas (gemeten bij standaardomstandigheden). Het rookgas heeft een zwaveldioxydegehalte van 0,15 volumepercent. Hoeveel calciumcarbonaat gebruikt de professor dan per dag en hoeveel gips produceert hij daarmee, als het rookgas voor 95% wordt ontzwaveld?

De professor wil zijn systeem

schenken aan het energiebedrijf. Hij moet de directie eerst overtuigen van het nut van zijn vinding. "Stelt u zich eens voor", zegt hij gedreven, "dat het zwaveldioxyde uit onbehandeld rookgas dat in één uur wordt uitgestoten, oplost in een wolk met een water-volume van 5000 m^3 . Beseft u wel wat de pH is van de regen die uit deze wolk zal vallen?"

De zuurconstante, K_z , voor de protolyse van SO_2 in water bedraagt $10^{-2,15} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Het molaire gasvolume bij 0°C en $p = p_0$ is $22,414 \text{ liter per mol}$. De molmassa van calciumcarbonaat is 100 gram per mol en die van het gehydrateerde calciumsulfaat is 172 gram per mol .

Deze opgave werd beschikbaar gesteld door de Stichting Scheikunde Olympiade Nederland. De puzzelredactie verwacht de oplossingen uiterlijk 31 mei 1990 op het adres:

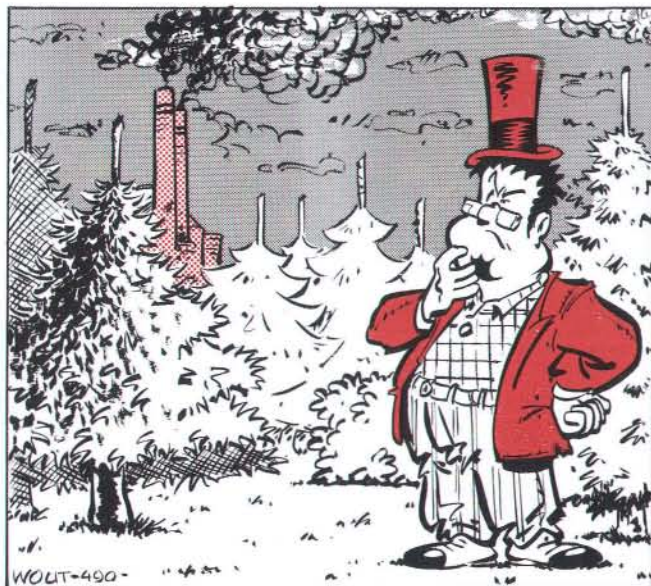
Natuur & Techniek

Puzzelredactie

Postbus 415

6200 AK MAASTRICHT

Onder de inzenders van de juiste oplossing verloot de puzzelredactie een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek. Uiteraard worden alle goede oplossingen beloond met een aantal punten in de laddercompetitie.

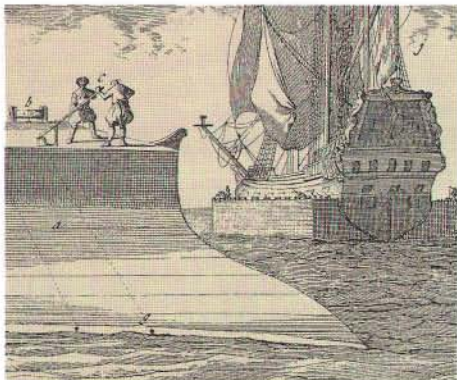


VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Planeten

Govert Schilling

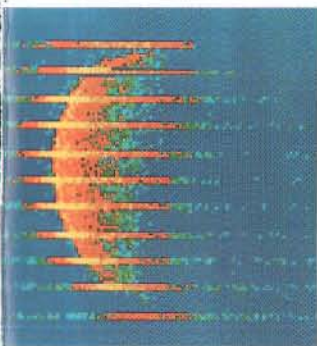
Nog geen dertig jaar geleden werden de eerste pogingen gedaan de planeten in ons zonnestelsel te onderzoeken met behulp van onbemande ruimtevaartuigen. Na jaren spannend speurwerk kunnen astronomen nu de bonte verscheidenheid aan planeten in grote lijnen verklaren.



Zuiderzee

Prof dr R. Reinders en
Ing R. Oosting

Over de vissersschepen van de Zuiderzee in de 19e en 20e eeuw is veel bekend: botters, schokkers en pluten zijn nog in de vaart. Dankzij opgravingen in de IJsselmeerpolders kennen we nu ook enige oudere schepen, zoals een waterschip en een ventjager.



Bromelia's

Dr ir G. Samijn

Bromelia's werden zo'n honderdvijftig jaar geleden als sierplant in Europa geïntroduceerd. Met het regenbos wordt nu de biotoop van de bromelia's bedreigd. Hun natuurlijke evolutie loopt gevaar, maar dankzij de wetenschap worden ze betrokken in een nieuwe evolutie — die van de teeltoptimalisatie.



Drinkwater

Dr ir A. Graveland

Weinig mensen staan stil bij de moeite die waterleidingbedrijven doen om ons steeds kraakhelder water te leveren. De toenemende waterverontreiniging maakt het er voor hen niet gemakkelijker op, maar dankzij techniek, biologie en chemie komt er nog altijd gezond, fris en smakelijk water uit de kraan.

Milieunormen

Dr ir B. Brunekreef

Met grote regelmaat bereiken ons berichten over de gevaren van milieuverontreiniging voor de volksgezondheid. Giftgrond, smog en dioxine in de melk zijn slechts en-

kele voorbeelden uit een vrijwel eindeloze reeks. Vaak wordt 'de norm' overschreden of dreigt dat te gebeuren. Hoe komen milieunormen eigenlijk tot stand?



Suiker als vergif

Dr A. Furth

De evolutie van de mens heeft zich onder tamelijk Spartaanse condities voltrokken, waarbij slechts zelden vanuit de darmen een toevloed van verteerde

suikers naar het bloed plaatsvond. Dat gebeurt wel bij de talrijke zoete hapjes die we tegenwoordig zo graag nuttigen. Het zou niet verwonderlijk zijn als dat ongezond is.

Sommige Aardwetenschappers drinken uitsluitend bronwater zonder prik. Overigens zijn dat er niet veel.

vraagje: zijn wij het nou die voor die overmaat aan CO₂ in de atmosfeer zorgen, of helpt de aarde zelf een handje mee?

Voor doemdenkers is het moment zeer nabij dat de zeespiegel zover is gestegen dat het water eenvoudig over onze dijken gutst. Omdat de ijskappen smelten als gevolg van een overmaat aan CO₂ in de atmosfeer. Zou het?

Als je Aardwetenschappen studeert leer je dat dat een reëel scenario kan zijn. Maar dat het waarschijnlijk ook anders kan zijn.

Een aardwetenschapper is namelijk redelijk eigenwijs. Hij, of zij, laat zich vooral leiden door feiten en cijfers en weinig door veronderstellingen van anderen.

Je moet dus de aardkorst en de oceanen gaan bestuderen. Graven in het verleden. Verbanden leggen tussen klimaatsveranderingen en het CO₂ gehalte. Pas als daar duidelijkheid over is, kun je gefundeerd maatregelen voorstellen. Dat is niet alleen razend interessant om te doen, je komt ook nog eens ergens want de héle wereld is in feite je werkterrein.

Waarmee wij ook willen aangeven dat dit een studie is met het perspectief van een zekere toekomst. Want de zorg voor het milieu neemt alleen maar toe. En in de toekomst hebben we steeds meer olie nodig en gas en goed drinkwater. Ook dat is werk voor een geoloog of Fysisch geograaf.

Dat leer je op de VU.

Op zaterdag **26 mei** organiseren wij een **1-daagse excursie** dwars door het Westen van Nederland. Gratis en geheel verzorgd. Op zaterdag 26 mei kun je dus echt in de praktijk beleven wat aardwetenschappen is. Neem je kennis van de exacte vakken onder je arm en kom naar de VU. Praten we daar verder over de toekomst. De jouwe.

De aarde biedt volop toekomst.

Studiesecretariaat Aardwetenschappen. Vrije Universiteit De Boelelaan
1085 1081 HV Amsterdam Tel. 020-548 2451



vrije Universiteit

amsterdam
